

V. Patzold · G. Gruhn
C. Drebenstedt



Der Nassabbau

Erkundung, Gewinnung,
Aufbereitung, Bewertung

 Springer



Volker Patzold

Günter Gruhn

Carsten Drebenstedt

Der Nassabbau

Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Bewertung

Volker Patzold
Günter Gruhn
Carsten Drebenstedt

Der Nassabbau

**Erkundung, Gewinnung,
Aufbereitung, Bewertung**



Dr.-Ing. Volker Patzold
VP Consult
Dr.-Ing.V. Patzold & Partner GmbH
Kleiberweg 20
21244 Buchholz
Deutschland

Professor (em.) Dr.-Ing. Dr. h. c. Günter Gruhn
Am Grünen Berg 15
15926 Luckau
Deutschland

Professor Dr. Dr. h. c. (mult.) Carsten Drebenstedt
Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
Gustav-Zeuner Straße 1
09596 Freiberg
Deutschland

Titelbild: Schwimmende Aufbereitungsanlage mit integriertem Eimerkettenbagger
der Fa. Gebr. Grieshaber, Ludwigshafen

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar

ISBN 978-3-540-49692-2 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin
Herstellung: Almas Schimmel
Satz: Autoren

Gedruckt auf säurefreiem Papier 30/3180/as – 5 4 3 2 1

VORWORT

Das vorliegende Buch befasst sich mit Nassabbau. Dabei handelt es sich um den Bergbau im Nassen und beschreibt Methoden und Ausrüstungen des terrestrischen Tagebaus sowie des Meeresbergbaus auf oberflächennahe Lagerstätten, dargestellt am Beispiel des Bergbaus auf Kiessand. Es werden der Stand der Technik und des Wissens bei der Exploration und bergmännischen Gewinnung von Lockergestein im Nassen sowie deren Aufbereitung dargestellt. Dabei werden folgende Themen behandelt:

- Genehmigungsplanung,
- Erkundung,
- Kies- und Sandprodukte,
- Nassgewinnung und Rekultivierung,
- Aufbereitung,
- Lagerstättenbewertung,
- Kostenrechnung.

Aspekte des Umweltschutzes und der Nutzung computergestützter Planungshilfsmittel sind in die einzelnen Kapitel integriert.

Das vorliegende Werk wendet sich als Lehr- und Fachbuch sowohl an Studierende, z.B. der Fachrichtungen Geologie, Bergbau/Tagebau, Geotechnik oder Verfahrens-/Aufbereitungstechnik, als auch an Fachpersonal in den Produktionsbetrieben der Kies- und Sandindustrie, in einschlägig tätigen Ingenieur-Unternehmen und in Behörden.

Wegen der mengenmäßigen Begrenztheit jeder einzelnen Lagerstätte, und deren häufig während des Abbaus auftretenden Veränderungen der Rohstoffbeschaffenheit und der Absatzmöglichkeiten für die Produkte, sind mit großer Häufigkeit Neuplanungen für Gewinnungs- und Aufbereitungsvorhaben als auch Optimierungen für bestehende Betriebe vorzunehmen. In dieser Situation ist es für alle an derartigen Vorhaben Beteiligten wichtig, Methoden, Daten, Lösungsvorschläge etc. zur Verfügung zu haben, mit deren Hilfe begründete Entscheidungen sicher und zügig getroffen werden können. Die bisher auf dem Gebiet verfügbare Fachliteratur besteht aus Titeln zu jeweils ausgewählten Themen, wie z.B. zu geologischen Sachverhalten, zu Gewinnungsgeräten oder zu Ausrüstungen für die

Aufbereitung. Demgegenüber zeichnet sich das vorliegende Buch durch folgende Merkmale aus: Die Planungsprozesse werden in Durchgängigkeit von der Erkundung, Genehmigungsplanung und Bewertung der Vorkommen über die Produktprogrammplanung, die Planung der Gewinnungsverfahren und -geräte bis zur Planung der Aufbereitungsprozesse und Aufbereitungsanlagen behandelt. Es wird eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Prozesse vorgenommen, indem technische, wirtschaftliche, ökologische und rechtliche Einflussgrößen, Bedingungen und Zusammenhänge Berücksichtigung finden. Dabei werden leistungsfähige systemtechnische Methoden in Verbindung mit modernen Instrumentarien der Informationsverarbeitung für eine strukturierte Behandlung der Planungsprozesse und technologischen Systeme vorgestellt. Die Entwicklung des diesbezüglichen Planungssystems SAGALO® mit seinen Modulen LAGER®, ALOG®, PROPLAN® und DIMAN® wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) und die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert. Das Planungssystem SAGALO®, mit dessen Hilfe die Nassgewinnung und Aufbereitung konfiguriert und die erforderlichen Geräte und Ausrüstungen dimensioniert werden können, wird unter der Internetadresse www.vpconsult.de anhand von Demonstrationsbeispielen weiter vorgestellt.

Das Buch hat einen stark interdisziplinären Charakter, dem auch durch die Auswahl der Autoren Rechnung getragen wird. Das Buch unterstützt schließlich den Zugang zur Spezialliteratur, die zu Einzelthemen vorliegt.

Der Dank gilt den Mitarbeitern des Ingenieurbüros Dr.-Ing. V.Patzold, insbesondere Frau Valesca Köbke-Patzold, Herrn Dr.-Ing. Jörg U. Köbke, Herrn Dr.rer.nat. Wolfgang Thießen und Herrn Dipl.-Geol. Matthias Hartmann, unter deren Mitwirkung die niedergeschriebenen Ergebnisse entstanden sind. Dies erfolgte oft neben der fordernden täglichen Arbeit im Ingenieurbüro und ist ein großartiges Zeugnis von Leistungsbereitschaft und großem Einsatzwillen.

Nicht zuletzt sei allen weiteren sehr herzlich gedankt, die zum Entstehen dieses Buches beigetragen haben. Hier gilt besonderer Dank Frau Ilona Afritsch für ihre Leistung, die Anforderungen von Autoren und Verleger in Schrift und Bild umzusetzen.

Buchholz i.d.N, im Mai 2007

Die Autoren

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung	1
1.1	Bedeutung von Kies und Sand	1
1.2	Erkundung.....	4
1.2.1	Künstliche Steinsohle.....	9
1.2.2	Natürliche Verfestigungszonen.....	10
1.2.3	Schädliche Bestandteile	11
1.3	Genehmigungsplanung.....	12
1.4	Nassgewinnung	14
1.4.1	Wasserbauliche Nassbaggerei.....	18
1.4.2	Bergmännische Nassgewinnung	19
1.5	Aufbereitung von Kies und Sand	22
1.6	Bewertung	25
1.6.1	Lagerstättenwert.....	25
1.6.2	Bewertung der Abbautätigkeit	26
1.7	Rechnergestützte Planung von Nassgewinnung und Aufbereitung	26
2	Genehmigungsplanung.....	31
2.1	Rechtsgrundlagen.....	32
2.2	Schutzgüter.....	34
2.3	Rekultivierung und Folgenutzung.....	36
2.4	Ablauf des Genehmigungsverfahrens.....	39
2.4.1	Antragskonferenz	39
2.4.2	Durchführung der Untersuchungen.....	40
2.4.3	Antrag auf Genehmigung.....	40
2.4.4	Erörterung des Antrags	40
2.4.5	Planfeststellungsbeschluss	41
2.5	Fallbeispiele Genehmigungsplanung	41
2.5.1	Genehmigung eines terrestrischen Vorkommens.....	42
2.5.1.1	Rechtsgrundlage.....	42
2.5.1.2	Schutzausweisungen und Entwicklungsziele	43
2.5.1.3	Methodik und Gliederung der Umweltverträglichkeitsstudie	44

2.5.2	Genehmigung einer marinen Kiessandgewinnung.....	46
2.5.2.1	Rechtsgrundlage.....	46
2.5.2.2	Methodik und Gliederung	48
2.6	Planungssystem für die ökologische Bewertung eines Abbauverfahrens	52
2.6.1	Methodik	52
2.6.2	Bewertung	54
3	Erkundung.....	59
3.1	Lagerstättenarten	61
3.2	Lagerstättengenese	63
3.2.1	Liefergebiet	65
3.2.2	Transport	65
3.3	Prozesse der Bodenbildung	70
3.4	Bodenarten	72
3.4.1	Klassifizierung	72
3.4.2	Bindige Böden.....	76
3.4.2.1	Schlick.....	76
3.4.2.2	Ton, Mergel, Lehm	78
3.4.3	Rollige Böden	81
3.4.4	Fels.....	81
3.5	Relevante geotechnische Daten.....	81
3.5.1	Korngrößenverteilung	82
3.5.2	Ungleichförmigkeitsgrad	84
3.5.3	Kornform.....	88
3.5.4	Konsistenz.....	92
3.5.5	Dichte, Wichte, Wassergehalt, Scherfestigkeit	94
3.5.5.1	Dichte	94
3.5.5.2	Wichte	95
3.5.5.3	Wassergehalt	96
3.5.5.4	Sättigungszahl	96
3.5.5.5	Scherfestigkeit.....	97
3.5.6	Lagerungsdichte	97
3.5.7	Schädliche Bestandteile	100
3.6	Erkundungsmethoden.....	101
3.6.1	Direkte Erkundungsmethoden.....	103
3.6.1.1	Van Veen Greifer	104
3.6.1.2	Sondierungstange	105
3.6.1.3	Schneckenbohrung	105
3.6.1.4	Spülbohrung	106
3.6.1.5	Rammkernbohrung.....	107
3.6.1.6	Standard Penetration Test (SPT).....	108
3.6.1.7	Flügelsondierung.....	109

3.6.1.8	Greiferbohrung	111
3.6.1.9	Drehbohrung	111
3.6.1.10	Vibrationsbohrung	112
3.6.1.11	Drucksondierung	113
3.6.1.12	Schwerkraftbohrer	116
3.6.1.13	Piston Corer	116
3.6.1.14	Schürfgruben, Probebaggerung	117
3.6.2	Indirekte Erkundungsmethoden	117
3.6.2.1	Akustische Verfahren	119
3.6.2.2	Elektrische Verfahren	129
3.6.2.3	Elektomagnetische Verfahren	139
3.6.2.4	Bestimmung der in situ Dichte	146
3.6.2.5	Verfahrensvergleich	150
3.7	Fallbeispiel: Kombination verschiedener Erkundungsmethoden	152
3.8	Vorratsermittlung	156
3.8.1	Abbauverluste	158
3.8.2	Vorratsermittlung mit dem Planungssystem LAGER®	162
4	Kies- und Sandprodukte	165
4.1	Petrographische Zusammensetzung von Lockergestein	165
4.2	Produkte	166
4.3	Produktprogrammplanung mit dem Planungssystem PROPLAN®	172
4.4	Fallbeispiel: Produktprogrammplanung für ein Kieswerk	175
5	Nassgewinnung	179
5.1	Ausrichtung	181
5.2	Betriebsstelle Vorrichtung	182
5.3	Betriebsstelle Gewinnung	182
5.3.1	Gewinnungstechnik	182
5.3.1.1	Abbauführung	182
5.3.1.2	Verhieb	185
5.3.1.3	Böschungsbaggerung	188
5.3.1.4	Betriebszeit, Drehfaktor	191
5.3.1.5	Gewinnungsverluste	194
5.3.1.6	Voraufbereitung	196
5.3.1.7	Gewässertrübung	198
5.3.2	Entwicklung der Nassbagger	202
5.3.3	Lösen von Boden	209
5.3.3.1	Löswerkzeuge der Nassbagger	212
5.3.3.2	Antriebs- und Grableistungsberechnung	225
5.3.4	Beschreibung ausgewählter Nassbagger	230
5.3.4.1	Grundsaugbagger	231

5.3.4.2	Saugbagger für große Tiefen.....	238
5.3.4.3	Schneidkopfsaugbagger	245
5.3.4.4	Schneidradsaugbagger	248
5.3.4.5	Laderaumsaugbagger	249
5.3.4.6	Tieföffelbagger	253
5.3.4.7	Landgestützter Eimerkettenbagger.....	253
5.3.4.8	Schrapper	255
5.3.4.9	Schleppschaufelbagger.....	256
5.3.4.10	Stelzenpontonbagger	258
5.3.4.11	Schwimmender Eimerkettenbagger	261
5.3.4.12	Schwimmgreiferbagger	266
5.3.4.13	Leistungsberechnungen ausgewählter Nassbagger	269
5.4	Betriebsstelle Förderung	291
5.4.1	Kontinuierliche Förderung	291
5.4.2	Diskontinuierliche Förderung	291
5.4.3	Fördervolumen und Fördermasse.....	293
5.4.4	Fördermittel.....	294
5.4.4.1	Rohrleitung	294
5.4.4.2	Förderband	294
5.4.4.3	Schutentransport.....	296
5.4.4.4	Transport mit Laderaumbagger.....	298
5.5	Betriebsstelle Zwischenlagerung	299
5.6	Betriebsstelle Rekultivierung	299
5.6.1	Zielsetzung	299
5.6.2	Umsetzung der Rekultivierung	300
5.6.3	Kosten Rekultivierungsmaßnahme	301
5.7	Fallbeispiel: Machbarkeit einer Grundsaugbaggerung	302
5.7.1	Aufgabenstellung	302
5.7.2	Lagerstättenmerkmale	304
5.7.3	Auswahl des Gewinnungsverfahrens	309
5.8	Geräteauswahl mit dem Planungssystem ALOG®	312
5.8.1	Fallbeispiel: Geräteauswahl mit ALOG®	316
5.8.1.1	Lagerstättendaten und Kundeninterview.....	317
5.8.1.2	Auswahl der technisch geeigneten Gewinnungsgeräte	319
5.8.1.3	Dimensionierung der Abbauanlagen.....	319
5.8.1.4	Ermittlung der Wirtschaftlichkeitskenndaten.....	320
5.8.1.5	Auswahl und Wichtung der Bewertungskriterien	322
5.8.1.6	Durchführung der Nutzwertanalyse	323
5.8.1.7	Diskussion der Ergebnisse	324
5.9	Abbaukontrolle.....	326
5.9.1	Handlotungen	328
5.9.2	Echolotpeilungen	328

6	Aufbereitung von Kies und Sand	335
6.1	Aufbereitungsanlagen	335
6.1.1	Zielsetzung	335
6.1.2	Grundvorgänge.....	336
6.1.3	Anlagenbeispiele	338
6.1.4	Anlagentypen	344
6.2	Anlagenausrüstungen	348
6.2.1	Kennwerte von Ausrüstungen	348
6.2.2	Siebklassierung im Schwerkraftfeld.....	349
6.2.2.1	Starre Roste oder Siebe	351
6.2.2.2	Schwingsiebmaschinen	354
6.2.3	Stromklassieren im Schwerkraftfeld	357
6.2.3.1	Trogklassierer.....	359
6.2.3.2	Mehrkammerklassierer.....	360
6.2.3.3	Laderaum-, Spülfeldklassierung	361
6.2.3.4	Aufstromklassierer	362
6.2.4	Stromklassieren im Zentrifugalkraftfeld	362
6.2.4.1	Hydrozyklon.....	363
6.2.4.2	Dekanter	364
6.2.5	Sortierung.....	364
6.2.5.1	Dichtesortierung	366
6.2.6	Waschen	367
6.2.6.1	Schwertwäsche	369
6.2.6.2	Trommelwäsche	369
6.2.7	Klauben	369
6.2.8	Lösen	370
6.3	Weitere Aufbereitungsprozesse	370
6.3.1	Feinsandrückgewinnung	370
6.3.2	Entwässerung	371
6.3.2.1	Aufbereitung Prozesswasser	374
6.3.3	Magnetabscheidung	376
6.3.4	Zerkleinerung	377
6.3.5	Lagern und Mischen.....	379
6.4	Prozess- und Anlagenplanung.....	380
6.4.1	Prozess und Anlagenplanung mit dem Planungssystem DIMAN®	381
6.4.1.1	Prozessplanung.....	381
6.4.1.2	Anlagenplanung	383
6.4.2	Shortcut-Modelle für die Prozessplanung	385
6.4.2.1	Modell der Grobklassierung (Roste).....	385
6.4.2.2	Modell der Siebklassierung	386
6.4.2.3	Modell der Stromklassierung	389

6.4.2.4	Modell der Zerkleinerung	389
6.4.2.5	Modell der Dichtesortierung	390
6.4.2.6	Modell der Läuterung.....	391
6.4.2.7	Modell der Entwässerung.....	391
6.4.3	Prozess- und Anlagensimulation mit dem Fließschema simulations-System SolidSim®	392
7	Lagerstättenbewertung und betriebswirtschaftliche Analyse	397
7.1	Bewertung einer Lagerstätte	398
7.1.1	Definition Verkehrswert	398
7.1.2	Verkehrswert von Grundstücken mit Bodenschätzen	398
7.1.2.1	Vergleich mit Kaufpreisen von Vergleichsgrundstücken	399
7.1.2.2	Ermittlung anhand von Bodenrichtwerten	399
7.1.2.3	Ermittlung anhand des Ertragswertes von Ackerland	399
7.1.2.4	Verkehrswertermittlung durch Feststellung von Sach- und Ertragswert	400
7.1.3	Bewertung von Tagebaubetrieben.....	400
7.1.3.1	Ertragswert	401
7.1.3.2	Substanzwert	402
7.2	Wirtschaftlichkeitsanalyse	402
7.2.1	Kenngrößen der dynamischen Investitionsrechnung	403
7.2.2	Einflussgrößen der Investitionsrechnung.....	405
7.2.2.1	Fixe Kosten	406
7.2.2.2	Variable Kosten.....	409
7.2.3	Erlöse	410
7.2.4	Zeitlicher Verlauf des erwirtschafteten Ergebnisses	411
7.3	Komplexe Bewertung von Abbau- und Aufbereitungsanlagen	412
7.4	Fallbeispiel Ermittlung des angemessenen Förderzinses einer Quarzsandlagerstätte	415
7.4.1	Einleitung	415
7.4.2	Stratigraphische Zuordnung	415
7.4.2.1	Aufbau der Lagerstätte.....	416
7.4.2.2	Mengenabschätzung.....	417
7.4.2.3	Qualität des abzubauenen Quarzsandes	418
7.4.2.4	Nutzbarkeit der Lagerstätte	418
7.4.3	Gewinnungstechnik.....	419
7.4.4	Aufbereitungstechnik	421
7.4.5	Aufbereitung von Bausanden	421
7.4.5.1	Aufbereitung von feuchten Quarzsanden.....	422
7.4.5.2	Aufbereitung von trockenen Quarzsanden.....	423
7.4.6	Ergebnis	423

7.4.7	Herstellkosten von Bausand	423
7.4.7.1	Herstellkosten von nassem Quarzsand	425
7.4.7.2	Herstellkosten von trockenem Quarzsand	425
7.4.8	Ermittlung des angemessenen Förderzinses	426
8	Anhang	429
8.1	Anhang 1: Verzeichnis der angewandten Gesetze und Vorschriften	429
8.2	Anhang 2: Verzeichnis der themenbezogenen DIN	445
9	Quellenverzeichnis	455
10	Sachwortverzeichnis	467

Verzeichnis der Formelzeichen

Vorbemerkung:

Bei der fachlichen Breite des Buches und auch der notwendigen Bezugnahme auf mehrere Grundlagengebiete war es nicht zu vermeiden, dass einige Formelzeichen jeweils für unterschiedliche technische Größen stehen. Missverständnisse sind jedoch nicht möglich, da die Formelzeichen auch im Text gekennzeichnet werden.

A	Fläche, Rostfläche, Siebfläche, jährliche Investitionssumme
A_G	Lagerstättenfläche
A_M^A	massebezogene Oberfläche des Aufgabegutes
A_M^G	massebezogene Oberfläche des Grobgutes
A_o	offene Siebfläche
A_S	Fläche für Bermen, Aufbereitungsanlagen, Sicherheitsflächen u.a.
A_{Sp}	Querschnittsfläche des Spans
A_t	Aufwendungen im Jahr t
a	Bypass in das Grobgut
a_S	Beschleunigung des Siebgutes
a_{Sp}	Spandicke
B	Breite
b_s	Rentenbarwertfaktor auf der Basis von s Jahren
b_{Sp}	Spanbreite
C	Beladung
C_{AN}	Annuität des Kapitalwertes
C_E	Endwert
C_K	Kapitalwert
c	Kohäsion

c_u	Scherfestigkeit
D	Lagerungsdichte, Diffusionskoeffizient
D_F	Drehfaktor
$D_{F,Ki}$	projektspezifische Korrekturfaktoren des Drehfaktors
$D_{F,Bagger}$	Drehfaktor des Baggers
D_R	Rohrinnendurchmesser
$dB(A)$	Schallleistungspegel
d	Korndurchmesser
d_E	Öffnungsdurchmesser (Eimer)
$\bar{d}_j$	mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j
d_{ka}	Schneidkopfaußendurchmesser
d_{max}	maximaler Korndurchmesser
d_{min}	minimaler Korndurchmesser
d_{mf}	Mittelwert der Korngrößenverteilung (gemäß Gl.(3-1))
d_o	oberer Wert des Durchmessers
$d_{Part,u}$	unterer Grenzkorndurchmesser der Partikelgrößenfraktion
$d_{Part,o}$	oberer Grenzkorndurchmesser der Partikelgrößenfraktion
d_{ra}	Schneidradaußendurchmesser
d_S	Saugrohrdurchmesser
d_T	Trennkorndurchmesser
$d_{T,max}$	maximaler Trennkorndurchmesser
$d_{T,min}$	minimaler Trennkorndurchmesser
d_u	unterer Wert des Durchmessers
d_{10}	Korndurchmesser bei 10 Ma.-% Siebdurchgang
E	Erlös
e	spezifischer Erlös, Eindringtiefe
F_B	Beschleunigungswiderstand
F_F	Füllwiderstand
F_{GR}	Grabwiderstand
Fr	Froud-Zahl
Fr_{kr}	Froud-Zahl für kritische Strömungsgeschwindigkeit
F_R	Reibwiderstand
F_S	Schneidwiderstand

F_S'	spezifische Schnittkraft
f	Formfaktor
f_A	Auflockerungsfaktor
f_F	Füllungsgrad
f_N	Neigungsfaktor
f_S	Mantelreibung (bei Drucksondierung)
g_j	Gewichtungsfaktor zwischen den Kriterien U_j ; nicht von A_i abhängig
G	Gewinn (wirtschaftliches Ergebnis), Eigengewicht
h_{Sp}	Spannhöhe
i	Variante des Abbauverfahrens (z.B.: 1=Bohren und Sprengen, 2=horiz.Fräsen, ...)
I	seismische Impedanz
I_C	Konsistenzzahl
I_p	Plastizitätszahl
j	Art des Umwelteinflusses (z.B.: 1=Lärm, 2=SO ₂ -Äquivalent,...)
K	Kosten
k	Wasserdurchlässigkeit, spezifische Kosten
k_H	spezifische Herstellkosten
$k_{füll}$	Füllungsgrad
k_{ij}	Korrekturfaktor für Art und Intensität des Umwelteinflusses, von A_i abhängig
k_L	Grabwiderstand
k_S	Schwarmbehinderungsfaktor
k^Z	spezifische Kosten für Zukauf
k_ψ	Formkorrekturkoeffizient
l	Länge
L_w	Schallleistungspegel
l_{Schn}	Schneidkantenlänge
M	Moment
Ma.-%	Massenprozent
m	Masse
$\dot{m}$	Massenstrom
$\dot{m}^F$	Feingutstrom
$\dot{m}^G$	Grobgutstrom

$\dot{m}_U$	Massenstrom Unrat
$\dot{m}_W$	Massenstrom Wasser
$\dot{m}_{W,Ob}^A$	Massenstrom oberflächenhaftendes Wasser
N	Nutzlast
n	Porenanteil, Anzahl der Förderspiele pro Zeiteinheit
n_f	nutzbarer Porenanteil
n_U	Drehzahl
P	Produktmenge, Federkraft, Leistung
P_B	Beschleunigungsleistung
P_F	Füll- und Umwälzleistung
P_{ges}	Gesamtproduktmenge
P_{Gr}	Grableistung des Lösewerkzeuges
$P_{G,t}$	jährliche Abbauleistung des Gewinnungsgerätes
P_H	Hubleistung
P_M	Antriebsleistung des Lösewerkzeuges
P_P	Pumpenleistung
P_V	elektrische und mechanische Verlustleistung
P_p	Pumpenleistung
P_R	Reibungsleistung
P_S	Schneidleistung, Grableistung
P_{ges}	Gesamtproduktmenge
p_{ij}	Punktwert für das Abbauverfahren A_i und den Umwelteinfluss U_j (berücksichtigt die Differenzen von U bezüglich A_i)
P^o	obere Grenze der Produktmenge
P^u	untere Grenze der Produktmenge
p	Druck
Δp_D	druckseitige Förderhöhe
$\Delta p_{E,D}$	Druckverlust durch Einbauten auf Druckseite
$\Delta p_{E,S}$	Druckverlust durch Einbauten auf Saugseite
Δp_{Ges}	Gesamtförderhöhe
$\Delta p_{G,D}$	Geodätische Förderhöhe auf Druckseite
$\Delta p_{R,D}$	Druckverlust durch Rohrreibung auf Druckseite
$\Delta p_{R,S}$	Druckverlust durch Rohrreibung auf Saugseite

Δp_S	saugseitige Förderhöhe
Δp_V	Druckverlust infolge Beschleunigung des Förderstroms
p^*	interner Zinsfuß
Q	Baggerleistung Fördervolumen bei Baggern
Q_{th}	theoretisches Fördervolumen
q_S	Spitzendruck (bei Drucksondierung)
R	Restwert
Re	Reynold-Zahl
ROG	Raumordnungsgesetz
R_f	Reibungsverhältnis
$S_{ges\ i}$	soziale Vorteilhaftigkeit
S_f	Sättigungszahl
s_O	Sinkgeschwindigkeit
T	Trennfunktion, Förderspielzeit
$T(d_j)$	Trennfunktion für Korngrößenfraktion j
T_{AD}	Dynamische Amortisationsdauer
$T_{f/m/g}$	Trennfunktion für kleine (k), mittlere (m) und grobe (g) Partikel
T_h	horizontale Baggerungstoleranz
T_L	wirtschaftliche Lebensdauer
T_v	vertikale Baggerungstoleranz
t	Zeit
U	Ungleichförmigkeitsgrad, elektrische Spannung, Zukunftserfolg Umwelteinfluss
$\ddot{U}_t$	jährliche Betriebsüberschüsse
U_{t0}	Zukunftserfolg zum Zeitpunkt des Kaufübergangs
u	Umfangsgeschwindigkeit
UE	Umwelteinfluss
$UE_{ges\ i}$	Umwelteinflüsse gesamt für Abbauverfahren i
$UEWS_{ges\ i}$	Umwelt-, wirtschaftliche und soziale Einflüsse insgesamt
V	Volumen
$Vol.\text{-}\%$	Volumenprozent
V_B	Bodenvolumen
V_E	Eimervolumen
V_F	Feststoffvolumen
V_H	Laderaumvolumen
V_K	Kübelvolumen

V_L	Löffelvolumen
V_N	Nenninhalt des Grabgefäßes
V_{oA}	spezifische Rostbelastung
$\dot{V}_{oN}$	spezifische Rostbelastung je mm Spaltweite
$\dot{V}$	Volumenstrom
V_S	Schrappgefäßvolumen
$\dot{V}_{Sus}$	Volumenstrom der Suspension
V_{oA}	spezifische Rostbelastung
$\dot{V}_{oN}$	spezifische Rostbelastung je mm Spaltweite
v	Geschwindigkeit
v_S	Schwenkgeschwindigkeit
v_K	kritische Rohrströmungsgeschwindigkeit
v_R	Rohrströmungsgeschwindigkeit
$W_{ges\ i}$	wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit
w	Wassergehalt, Spaltweite, Benetzbarkeit
w_L	Fließgrenze
w_P	Ausrollgrenze
$Z_{L,m}$	mittlere Lagerstättenmächtigkeit unter Berücksichtigung der Abbauverluste
Z_{GV}	gerätespezifischer Gewinnungsverlust
z	Baggertiefe
z_d	durchschnittliche Baggertiefe
z_{GS}	Tiefenmittelwert der Gewässersohle
z_{LG}	Tiefenmittelwert des Liegenden
z_{opt}	optimale Baggertiefe
α	Neigung, Steigung der Trennfunktion
β	Neigung des Siebbodens
ε	Porenziffer
γ_S	Schüttgewicht
φ	Reibungswinkel, Sphärizität
η	dynamische Viskosität
η_g	Gütegrad der Bodenaufnahme bei Baggern,
η_P	Wirkungsgrad von Baggerpumpen
λ	Rohrreibungsbeiwert

μ	Reibungskoeffizient
ρ	Rohdichte, elektrischer Widerstand
ρ_K	Korndichte
ρ_d	Trockendichte
ρ_f	Feuchtdichte (Wassersättigung)
ρ_L	Laderaumdichte (in Schuten und Laderaubaggern)
ρ_S	Schüttdichte (aufgehaldetes Material)
ρ_T	Gemischdichte bei Transport
ρ_w	Dichte Wasser
σ	Normalspannung, elektrische Leitfähigkeit
τ_f	Scherfestigkeit
ω	Winkelgeschwindigkeit
ξ	Merkmalswert
ζ	Widerstandsbeiwert der Einbauten
ζ_{jk}	Zerkleinerungskoeffizient

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
AMOB	All light material over board
AWZ	Ausschließlichen Wirtschaftszone
BBergG	Bundesberggesetz
BD	Backhoe Dredger (Stelzenpontonbagger)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BH	Hydraulikbagger
BKS	Bundesverband Kies und Sand
BL	Bucket ladder dredger (Eimerkettenbagger)
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
ca.	Circa
CPT	Cone Penetration Test
CSD	Cutter suction dredger (Schneidkopfsaugbagger)
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DD	Dipper dredger (Schöpflöffelbagger)
DIN	Deutsche Industrie Norm (Auflistung der zitierten DIN-Vorschriften s. Anhang 1)
DL	Dragline (Wurfkübelbagger)
EAU	Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen
ECSD	Ecological cutter suction dredger (Ökologischer S.)
EDV	Elektronische Daten Verarbeitung
EIA	Environmental impact assessment
EU	Europäische Union
Fabr.	Fabrikat
FFH	Flora-, Fauna-, Habitat
GD	Grab Dredger (Greiferbagger)
GEP	Gebietsentwicklungsplan
ggf.	Gegebenenfalls
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
HDPE	high density polyethylen

H:L	Höhe : Länge
HW	Wellenauflaufhöhe
i. M.	im Mittel
i.d.R.	in der Regel
IHC	Werft IHC Holland, Kinderdijk
KEA	Kumulierter Energieaufwand
LANU	Landesamt für Natur und Umwelt
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LBP	Landschaftpflegerischer Begleitplan
LEP	Landesentwicklungsplan
lt.	Laut
LTD	low turbidity dredger ()
LVerwG	Landesverwaltungsgesetz
Ma.-%	Masse-%
Mio.	Million
MPa	Mega Pascal
mWS	Meter Wassersäule
NSG	Naturschutzgebiet
NW	Niedrigwasser
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
o.	Oben
OK	Oberkante
O&K	Orenstein&Koppel AG, Lübeck
OKL	Oberes Kieslager
OZH	Oberer Zwischenhorizont
PIANC	P ermanent I nternational A ssociation of N avigation C ountries
RBP	Rahmenbetriebsplan
rd.	Rund
ROG	Raumordnungsgesetz
RQ- Wert	Recovery Quotient
RW	Richtwert
s.o.	siehe oben
SAE	Society of Automotive Engineers
SAGALO	S ystem zur A nlagenplanung für G ewinnung und A ufbereitung von L ockergestein
SD	Plain suction dredger (Grundsaugbagger)
sog.	sogenannt
SPT	Standard Penetration Test
SSS	Side Scan Sonar (Seitensichtgerät)

TBT	Tributylzinn
T _h	Horizontale Baggertoleranz
THSD	Trailer Hopper Suction Dredger (Laderaumsaugbagger)
TL	Technische Lieferbedingungen
TÖB	Träger öffentlicher Belange
TU	Technische Universität
T _v	Vertikale Baggertoleranz
u.	unten
ü. NN	über Normal Null
u.U.	unter Umständen
u. Wsp.	unter Wasserspiegel
u.A.	unter Anderem
u.a.m.	und anderes mehr
u.zw.	und zwar
UCW	Schneidradaugbagger
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP-G	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVP-V Bergbau	Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
UXO	unexploded ordonance
Vol.	Volumen
Vol.-%	Volumen-%
WaStrG	Wasserstraßengesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WID	Water injection dredger (Wasserinjektionsgerät)
z.B.	zum Beispiel
ZTVZ / ZTV	Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen
zw.	Zwar

1 Einführung

1.1 Bedeutung von Kies und Sand

Dem Teilbereich bergmännischer Gewinnung^{1,2} von oberflächennahen Rohstoffen wie Kies und Sand kommt eine große wirtschaftliche Bedeutung zu, was sich neben großer Verbreitung auch in einer umfangreichen Zulieferindustrie für Geräte, Apparate, Maschinen, spezielle Werkzeuge und komplette Anlagen sowohl für die Gewinnung als auch für die Aufbereitung niederschlägt. Die Verwendungsmöglichkeiten von Kies und Sand sind in Tabelle 1-1 aufgelistet.

Tabelle 1-1 Verwendungsmöglichkeiten für Kies und Sand

	Industriezweig		Hauptprodukt
Bau	Wohnungsbau		Zuschlagsstoff
	Industriebau		
	Landwirtschaftlicher Bau		Wegebau
	Sportstättenbau		
	Verkehrswegebau	Straßenbau Bahnbau Wasserbau	Frostschutz, Tragschichten, Gleisbau, Drainage, Filtermittel (Wasser, Luft), Deckwerke
Grundstoff- und Produktionsgüter	Steine und Erden	Transportbeton	
		Mörtel	
		Kalksandstein	
		Betonstein	
		Zement	Rohstoffzusatz
		Ziegel	
	Stahlindustrie	Schlackenbildner	Form-, Kernsand
		Auskleidung Öfen	
		Auskleidung Pfannen	
	Gießereiindustrie	Formgrundstoff	
	Chemische Industrie	Silikatstein	Zusatzmittel
	Erdölindustrie	Stützmittel Suspension	Bentonit
Verbrauchsgüter	Glasindustrie		Glas
	Keramische Industrie	Steingut	Feuerfeste Keramik
		Emailmassen	
Sonstige	Verkehr	Haftmittel	Streusand
	Schiffbau	Oberflächenbehandlung	Strahlsand
		Müllverbrennung	Wirbelschichtsande
		Wasseraufbereitung	Entkarbonatisierung

Wichtigste Industrien sind neben der Bauindustrie als Hauptverbraucher die Eisen schaffende Industrie, Gießereien, Glas- und Keramikindustrie und die chemische Industrie.

Die hohe Akzeptanz von Kies im Wirtschaftsleben drückt sich auch im aus dem jiddischen übernommenen Sprachgebrauch aus, wo Kies Synonym für Geld ist³. Abb. 1-1 verdeutlicht, dass Kies und Sand sowie gebrochenes Festgestein weitaus den größten Anteil an der weltweiten Produktion von Rohstoffen haben, hinsichtlich der Wertschöpfung rangiert die Produktion der mineralischen Zuschlagstoffe gleich hinter den Energierohstoffen auf Platz 4 (Abb. 1-2)^{4,5}.

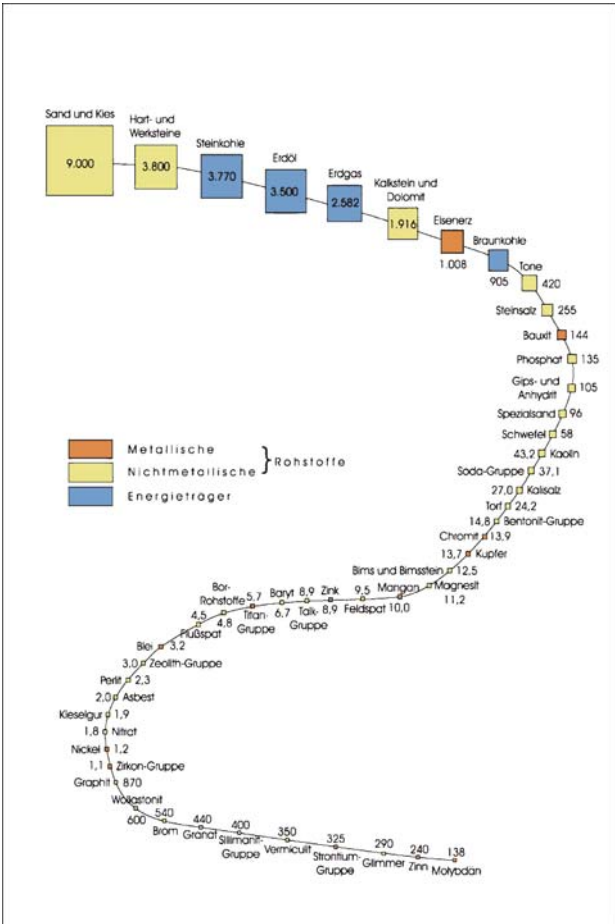


Abb. 1-1 Rangfolge der weltweiten Produktion verschiedener Rohstoffstoffe nach Lütting (Basis Produktion 2002 in t * 10³)

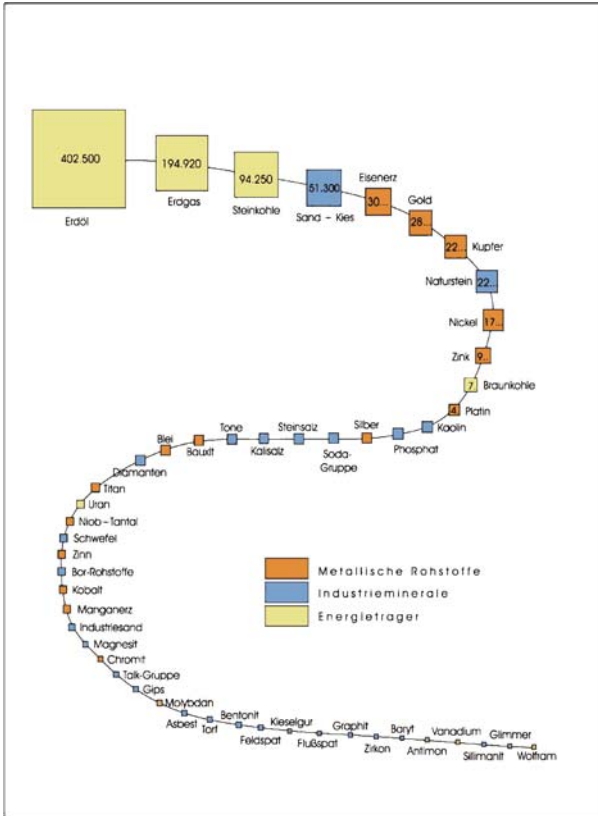


Abb. 1-2 Rangfolge der weltweiten Wertschöpfung verschiedener Rohstoffstoffe nach Lüttig (Basis Produktion 2002 in €*10³)

Im Bereich der Altbundesländer wurden im Jahr 1973 rd. 480 Mio. t Sand und Kies abgebaut und aufbereitet. Heute beträgt die jährliche Produktionsmenge im wiedervereinigten Deutschland ca. 260 Mio. t (Abb. 1-3).

Der durchschnittliche pro Kopf-Verbrauch an Kies und Sand ist von 8 t/a auf weniger als 4 t/a im Jahre 2005 gefallen. In bevölkerungsreichen Ballungsgebieten besteht ein höherer Bedarf. In den Bundesländern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen hat in den Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts der jährliche pro Kopf-Verbrauch im statistischen Mittel beispielsweise 6-8 t betragen.

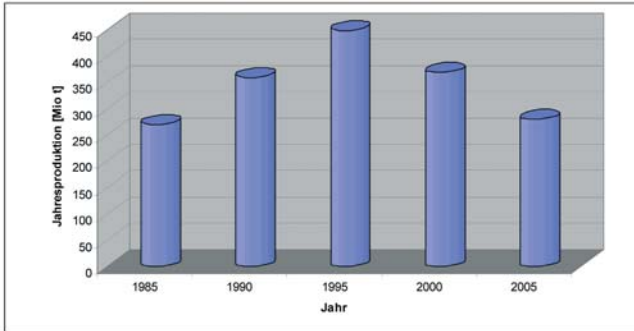


Abb. 1-3 Produktion von Sand und Kies in den Jahren 1985 bis 2005 in der Bundesrepublik Deutschland nach BKS

1.2 Erkundung

Da der Nasstagebau und dessen Planung, die optimale Auswahl und Konfiguration von Gewinnungs- und Förderanlagen sowie die der Aufbereitungsanlage entscheidend von der geologischen Situation der abzubauenen Lagerstätte und deren Genese abhängt, wird im Kapitel 3 auf die lagerstättenkundlichen Grundlagen von Kiessandlagerstätten eingegangen, ein Überblick über die Bildungsbedingungen von Lockergesteinslagerstätten, die Variationen im Aufbau und in der Zusammensetzung sowie das Auftreten und die Verteilung von Lockergesteinslagerstätten in Deutschland gegeben. Weiter wird auf die Arten der Erkundung und die Bedeutung der geotechnischen Parameter auf Gewinnung und Aufbereitung eingegangen. Insbesondere sind im Zuge der Erkundung zu untersuchen:

- die Aufgabenstellung für Nassgewinnung und Aufbereitung,
- die meteorologischen und hydrographischen Verhältnisse,
- die geologischen und geotechnischen Parameter,
- das Vorkommen von Hindernissen und Verunreinigungen.

Die Erkundung der geologischen und geotechnischen Daten der zu gewinnenden Lagerstätte ist wie bei allen Fragenstellungen in Zusammenhang mit dem Baugrund auch in der Nassgewinnung sowie in der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe von allergrößter Bedeutung für den Erfolg der Abbauvorhabens.

Es fällt immer wieder auf, wie viele später auftretende Probleme insbesondere in Hinblick auf Ausbeutemaximierung und Produktart durch ursprünglich unzureichende geologische Erkundung entstehen. Obwohl verständlicherweise beim Neuaufschluss einer Lagerstätte - erst recht in konjunkturell ungünstigen Zeiten - Kosten niedrig gehalten werden müs-

sen, können die zu diesem Zeitpunkt unter Umständen eingesparten Kosten später ein Vielfaches an Investitionen für nachträgliche Änderungen an Gewinnungsgerät oder Aufbereitungstechnik notwendig machen.

Noch gravierender und von den Abbautreibenden meist hingenommen sind die hohen Gewinnungsverluste, im Wesentlichen hervorgerufen durch keine hinreichend genaue Kenntnis der Lagerstättenverhältnisse und dadurch bedingte Wahl eines weniger geeigneten Gewinnungsgerätes.

Die Bedeutung angemessener Lagerstätten erkundung soll an einigen negativen Fallbeispielen verdeutlicht werden.

- Mangelhafte Erkundung

Im Bereich eines Gletschertores einer mecklenburgischen Lagerstätte wurden Erkundungen mittels Rammkernsondierungen mit einem Durchmesser von 80 mm ausgeführt. Es erfolgte die Investition in einen Grundsaugbagger mit zu kleiner Druckrohrleitung von nur 250 mm Durchmesser, was sich als grundsätzlich falsch herausstellte. Der Grundsaugbagger saugte das feine Material ab und es bildete sich eine Blocklage als Sohlschicht aus (sog. stone plating). Die Sohlschicht war nach kurzer Zeit mit Steinen so angereichert, dass eine Gewinnung der darunter anstehenden Kiessande unmöglich wurde. Wäre die Erkundung mit ausreichend großem Bohrdurchmesser erfolgt, hätte man die tatsächlich anstehende Kornverteilung und damit die Steine und Blöcke erkannt und sicherlich keinen Grundsaugbagger eingesetzt.

- Auswahl des falschen Gewinnungsgerätes

Aufgabe war die Sekundärgewinnung eines Kiessandvorkommens. Eingesetzt wurde ein Schneidradsaugbagger mit einer Leistung von 1,5 Mio. t/a, die jedoch nur im Vollschnitt im Zuge der Primärgewinnung zu erreichen ist. Tatsächlich wurden nur 0,35 Mio. t/a abgebaut. Die Herstellkosten stiegen damit von 0,80 €/t auf 1,68 €/t. Wäre die Restlagerstätte angemessen erkundet worden, hätte man die zu erwartende Produktion abschätzen können und sich sicher für ein kleineres Gerät, wenn nicht Vergabe der Restgewinnung im Fremdbetrieb (Lohnbaggerei), entschieden.

- Auswahl mangelhafter Voraufbereitung

Aufgabe war die Gewinnung von marinen Kiesen mit Abtrennung der Sande der Fraktion 0/2 auf See. Bedingung war, nicht mehr als 10 Ma.-% an Sanden anzulanden. Für die Vorabsiebung wurden 2 stationäre Einderckersiebe mit einer Siebfläche von je 6 m² gewählt. Die Gemischleistung der Baggerpumpe betrug ca. 8.000 m³/h, der Bodenanteil an Kiessand betrug ca. 20 Vol.-%, der Kornanteil der Fraktion 2/x betrug ca. 35 Ma.-%.

Neben Problemen bei gleichmäßiger Aufteilung des Förderstromes auf die beiden Siebe - das vordere Sieb hatte mehr grobes Material, das hintere mehr feines Material zu klassieren - war der Trennerfolg sehr schlecht. Je Ladung wurden statt der geforderten 10 Ma.-% Sandanteile zwischen 20 und 40 Ma.-% mitgeliefert. Die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung war nicht mehr gegeben. Hätte man die Lagerstättenverhältnisse mit den anstehenden Kiesanteilen besser berücksichtigt, hätte man eine andere Siebgröße und Siebtechnik gewählt.

- Fehlerhafte Berechnung der Leistung

Aufgabe einer Nassbaggerei war es, einen 25 m tiefen Graben für den Bau einer Kaje herzustellen. Der zu baggernde Boden war sehr fein. Der Anteil an der Korngröße 63 μm war lt. Leistungsbeschreibung 90 Ma.-%. Die Folge war, dass statt des angenommenen Laderaum-Füllungsgrades von 50 % des nominellen Volumens nur ca. 25 % erreicht wurden, mit der Konsequenz einer erheblichen Minderleistung und entsprechendem Bauverzug. Hätte man die Kornverteilung des Feinsandes und seiner Schluff- und Tonanteile besser analysiert, hätte man die tatsächlich zu erwartende Leistung realistischer eingeschätzt.

Nachfolgend sollen einige wesentliche Aspekte der Ausbildung terrestrischer und mariner Lagerstätten im Hinblick auf die Nassgewinnung erläutert und miteinander verglichen werden und damit die Erfordernis einer umfassenden Erkundung der Lagerstätte unterstreichen.

Mächtigkeit

Marine und terrestrische Nassgewinnung unterscheiden sich signifikant. Marine Seifen haben im Vergleich zu terrestrischen Lagerstätten i.d.R. keine große Mächtigkeit. Kiese am Oberrhein sind beispielsweise bis zu einer Mächtigkeit von 140 m nachgewiesen und werden derzeit auch bis 100 m abgebaut. Kiessande im deutschen Teil der Nord- und Ostsee dagegen stehen in nur geringer Mächtigkeit von wenigen Metern in Wassertiefen von < 40 m an.

Transportentfernung

Die Transportentfernungen zwischen mariner Lagerstätte und terrestrischer Aufbereitungsanlage sind oftmals sehr groß, z.B. in der Ostsee ca. 100 sm vom Adlergrund nach Rostock oder in der Nordsee ca. 130 sm von der Weißen Bank nach Hamburg oder 150 sm von der Mersey Mündung in England nach Amsterdam. Bei terrestrischen Lagerstätten beträgt die Transportentfernung zum Kieswerk meist nur wenige 100 m, in Ausnahmefällen allenfalls bis zu einigen Kilometern.

Abbaufläche

Terrestrische Lagerstätten haben wegen der großen Mächtigkeit der Vorräte i.d.R. kleinere Abbauflächen von ca. 20 – 150 ha, marine dagegen von 1.000 bis 10.000 ha und mehr. Die geringe flächenhafte Ausdehnung terrestrischer Lagerstätten ist durch konkurrierende Nutzungen auf sehr beschränktem Siedlungsraum begründet. Die große Ausdehnung mariner Gewinnungsflächen ist durch die Genese einerseits und andererseits durch das Verbot bedingt, aus ökologischen Gründen tiefe, später vollschlickende Abbaulöcher herzustellen.

Gewinnungsverfahren

In terrestrischen mächtigen Lagerstätten wie an der Oberelbe, am Oberrhein oder im Genfer See erfolgt die Nassgewinnung am häufigsten mittels stationärer Schwimmgreifer (Grab Dredger, GD), seltener im Druckluftheberverfahren, in zunehmendem Maße jedoch auch im Grundsaugverfahren. Nach dem Lösen aus dem Verband und Heben des Bodens an die Wasseroberfläche erfolgt i.d.R. eine Entwässerung an Bord des Gewinnungsgerätes, bei Anwendung des Grundsaugbaggerverfahrens erfolgt die Entwässerung am Ende des hydraulischen Transports vor Übergabe auf ein Förderband oder Beschickung der Vorhalde bzw. Aufbereitungsanlage mittels Entwässerungssieb oder Schöpfrad.

Nassgewinnung mariner Kiessande dagegen erfolgt i.d.R. mittels selbstfahrender Laderaumsaugbagger (Trailing Hopper Suction Dredger, THSD), wobei minderwertigere Sande bereits auf See klassiert und an die Gewinnungsstelle zurückverbracht werden. Die derzeit gebräuchlichen Laderaumsaugbagger bewegen eine Ladung bis zu 10.000 t je Baggerzyklus, davon > ca. 60-90 % Kies und Steine der Fraktion 2/120. Das Baggergut wird am Löschplatz mittels Austragsband quasi trocken angelandet (Abb. 1-4). Der umgekehrte Fall, den Kies abzutrennen und den Sand, i.d.R. dann mit hervorragenden Qualitäten hinsichtlich Kornverteilung, Kornform, Schluffgehalt sowie Verunreinigungen, zu gewinnen, wird hin und wieder ebenfalls ausgeführt. I.d.R. jedoch liegt der Schwerpunkt des Interesses in der Gewinnung des Körnungsanteils.

Gerätearten

Die vielfältigen unterschiedlichen Bedingungen der Lagerstätten und sich daraus ergebenden Anforderungen an das jeweilige Gerät bzw. Abbausystem hat eine sehr große Vielzahl von Gerätetypen und -größen zur Folge, die immer wieder Besonderheiten z.B. bei der Ausbildung des Lösewerkzeuges, der Entwässerung, der Fördertechnik oder der Übergabe an die Aufbereitung bedeuten.

Dies wiederum hat zur Folge, dass ein einmal gebauter Nassbagger immer nur für ein einziges, das erste Vorhaben in technischer und betriebs-

wirtschaftlicher Hinsicht maximal geeignet ist. Dieser Aspekt hat vor allem in der wasserbaulichen Nassbaggerei erhebliche Bedeutung, wo man mit ständig wechselnden Einsätzen relativ kurzer Dauer und damit mit sich ständig ändernden Gegebenheiten zu rechnen hat. Dem gemäß muss jeder Einsatzfall genau analysiert werden. Die Verhältnisse des vorausgegangenen Einsatzes können nicht ohne weiteres übertragen werden.

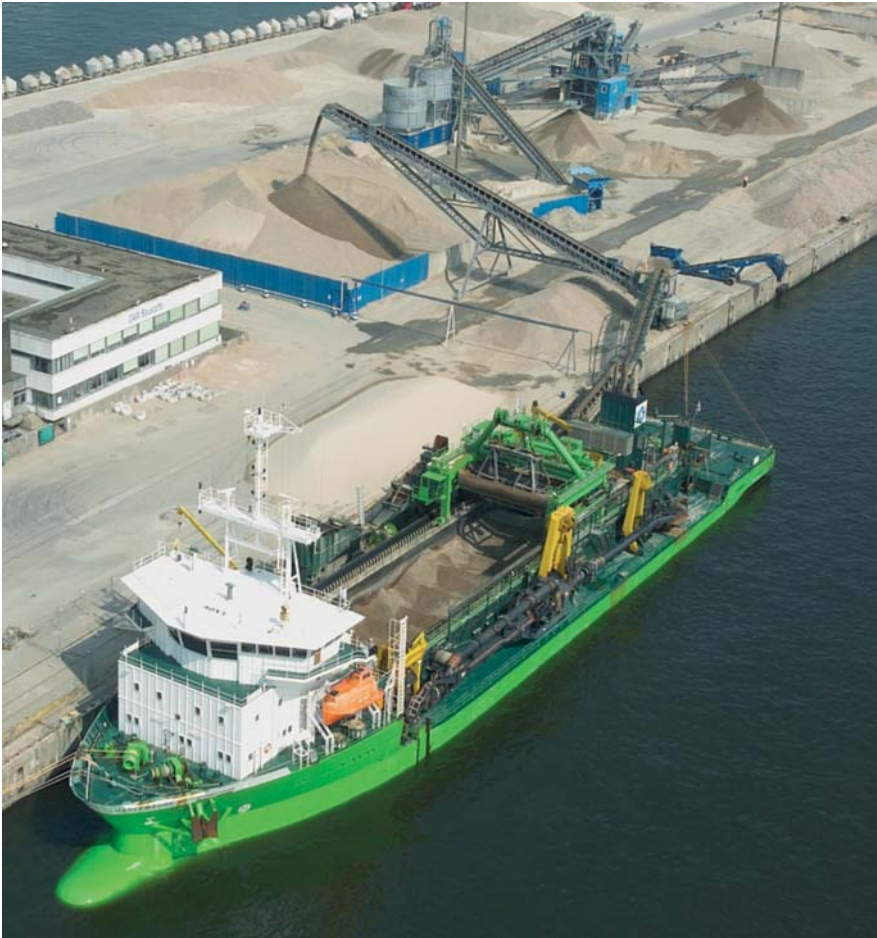


Abb. 1-4 Laderaumsaugbagger Charlemagne beim Löschen der Kiesladung in Hamburg⁶

Bergmännische Nassgewinnung dagegen stellt i.d.R. auf langfristigen Einsatz oftmals mehrerer Jahrzehnte an einer Lokation ab, so dass der jeweilige Nassbagger entsprechend den lokalen Gegebenheiten des Einsatzortes optimal konfiguriert werden kann.

1.2.1 Künstliche Steinsohle

Ein häufig anzutreffendes Problem aus der Gewinnungspraxis ist, dass ein Bagger - gleich welchen Typs - ab einer gewissen, durchaus noch beherrschbaren Abbautiefe kein Material mehr hereingewinnen kann. Dies bereitet meist erst dann dem Abbautreibenden Kopfzerbrechen, wenn aus vorausgegangenen Untersuchungen, z.B. Bohrungen, oder auch aus Nachbargruben bekannt ist, dass sein abgebautes Vorkommen wesentlich mächtiger sein muss. Eine derartige Begrenzung der Abbautiefe kann mehrere Ursachen haben.

Leider besteht immer noch in vielen Betrieben die Gewohnheit, beispielsweise mittels Traktorkette oder im Steinfangkorb des Saugbaggers bzw. auf dem Rost des Schwimmgreifers oder Eimerkettenbaggers (Bucker Ladder Dredger, BL) geborgene Steine im Baggersee baldmöglichst wieder zu verkippen und damit eine künstliche Steinsohle (stone plating) zu verursachen. Derartige Steinsohlen können auch natürlich auftreten.

Abgesehen von der Vergeudung von Rohstoffen wird sich das Verkippen zumindest bei Einsatz eines Saugbaggers bald bitter rächen. Denn ab einer gewissen Abbautiefe haben sich insbesondere bei ungleichförmig kornverteilten Kiessandlagerstätten durch Verkipfung und verfahrensbedingte selektive Gewinnung feineren Materials in kurzer Zeit so viele Steine an der Gewässersohle angesammelt, dass sich auch in diesem Fall eine künstliche Steinsohle gebildet hat. Einerseits könnte diese bei Gewinnung mittels Saugbagger nicht mehr oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand durchörtet werden, andererseits stellt sie, wenn mit anderen Geräten als Saugbaggern abgebaut wird, eine erhebliche Belastung für Gewinnungs- und Transportgerät sowie Aufbereitungsanlage dar. Hier hilft dann oftmals nur noch die nachträgliche sehr kostspielige Förderung aller Steine nach Wechsel des Gewinnungsgerätes unter Inkaufnahme erhöhter Verschleißkosten sowie zusätzlicher Aufrüstung der Aufbereitung oder, am tragischsten, die Einstellung des Abbaus.

In Abb. 1-5 ist diese Problematik am Beispiel eines Abbaus am Niederrhein dargestellt. Die Bohrung im unverritzten Lagerstättenteil weist hangende Decksande sowie darunter u.a. eine ca. 5 m mächtige sehr grobe, weit gestufte Kiessandschicht mit einem Ungleichförmigkeitsgrad U von ca. 100 aus. Die in diesem Falle ständig erfolgende Kontrolle des Abbaugeschehens zeigt als Ergebnis der druckwasseraktivierten hydraulischen Gewinnung mittels Grundsaugbagger einen sehr unvollständigen, selektiven Abbauprozess mit hohen Gewinnungsverlusten im gerade werthaltigsten Lagerstättenteil.

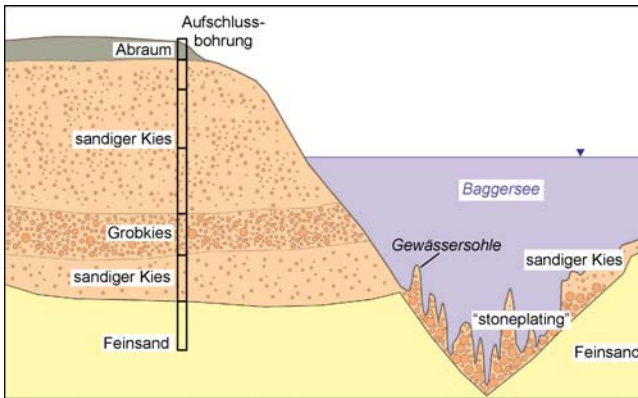


Abb. 1-5 Selektive Gewinnung in einer ungleichförmig kornverteilten Kiessandschicht mit der Folge der Bildung einer Steinsohle (stone plating)

1.2.2 Natürliche Verfestigungszonen

Eine andere Ursache für die unerwartete Begrenzung der Gewinnungstiefe normalerweise angewandter Baggerverfahren ist die Ausbildung von natürlichen verfestigten Horizonten. Diese werden hervorgerufen durch bereichsweise stark erhöhte Anteile von Schluff und Ton (Abb. 1-6) oder durch lagenweise Ausfällungen von karbonatischen oder eisenhaltigen Mineralien. Solche Verbackungen sind weit verbreitet und können sowohl in horizontaler als auch vertikaler Erstreckung auf kurze Entfernung stark wechseln.

Auch in diesen Fällen wird eine systematische geologische Erkundung Hinweise auf solche Verfestigungszonen liefern; und wo solche Bereiche auch nur in einer Bohrung angetroffen wurden, werden sie in der Lagerstätte vermutlich auch flächenhaft auftreten.

Auf die Auswahl der richtigen Erkundungsmethodik hinzuweisen gewinnt in diesem Zusammenhange an Bedeutung. Bei Verdacht auf Vorkommen bindiger Zwischenschichten eignen sich kaum Schneckenbohrungen, bei karbonatisierten Zwischenschichten kaum Drehbohrungen mittels Rollenmeißel. Die Zwischenmittel werden mit dieser Methodik nicht weiter erkannt und führen zur Begrenzung der Primärgewinnung mittels Greiferbagger nach Berichtigung der zunächst ausgewiesenen, gewinn- und nutzbaren Vorräte.



Abb. 1-6 Bindige Einlagerungen in einer Sandfolge an der Leine ⁷

Beim Auftreten einer Zwischenschicht in größerer Tiefe wird diese häufig fälschlicherweise als das Liegende des Vorkommens gedeutet. Dies trifft vor allem dann zu, wenn die Erkundungsbohrungen zu früh in dieser Schicht eingestellt wurden, ohne deren tatsächliche Mächtigkeit erkundet zu haben. Erst im Zuge einer Restkieserkundung stellt sich heraus, dass sich die gewinn- und nutzbaren Kiessande unterhalb der Zwischenschicht noch in die Tiefe fortsetzen.

Zu beachten ist jedoch, dass es sich bei einer tieferen Schicht eventuell um ein tieferes Grundwasserstockwerk handelt, das aufgrund wasserrechtlicher Auflagen nicht ohne weiteres angefahren werden darf. Auch zur Abklärung der hydrogeologischen Zusammenhänge ist eine ausreichende und angemessene Erkundung notwendig.

1.2.3 Schädliche Bestandteile

Ein weiteres, den Aufbereitungsprozess beeinflussendes, geologisches Problem ist das Vorkommen von schädlichen Bestandteilen, sei es Kohle, Holz, Pyrit, Toneisensteinkonkretionen oder alkalireaktiver Flint. In einer guten Erkundung werden solche Komponenten stets nachgewiesen und in den Schichtenverzeichnissen der Bohrungen aufgeführt.

Holz stammt häufig aus zerriebenen Baumstämmen und Kohle aus tieferliegenden Braunkohleflözen oftmals sehr geringer Mächtigkeit. Dies ist insofern von Bedeutung, als häufig an der Basis von Flusskiesen, z.B. der Flussschotter des Niederrheins, so hohe Kohlegehalte auftreten, dass von

einer Gewinnung solcher Schichten aus Kostengründen infolge erschwelter Aufbereitung u.U. abgesehen werden muss.

Häufig wird übersehen, dass zwar häufig ganze Regionen mit einem Problem, z.B. Vorkommen von Kohle oder alkalireaktivem Flint zu kämpfen haben, dass aber aufgrund der natürlichen Anlieferungs-, Sortierungs- und Ablagerungsprozesse von Sedimenten sowohl der Anteil an solchen schädlichen Bestandteilen, als aber auch andere wichtige Parameter, z.B. der Körnungsanteil, auf kurze Distanz sehr stark wechseln können und u.U. zu überschüssigen Sanden, insbesondere Feinsanden führen.

Jede Bohrung ist nur so gut, wie der, der sie durchführt, sie auch dokumentiert und beprobt. Unbestreitbar können erfahrene Bohrmeister viele Ablagerungen in ihrer Schichtung sicher beschreiben und dokumentieren. Insbesondere bei schwierigeren Lagerstättenverhältnissen ist die Anwesenheit eines Geologen jedoch von großem Vorteil. Ein Geologe kann auch die Materialzusammensetzung erkennen, beobachtet feinste, u.U. schädliche Nebenbestandteile, stellt die Bohrungsergebnisse abschließend in einen größeren Zusammenhang und - nicht zu unterschätzen - er kontrolliert auch die Arbeit des Bohrmeisters. Schichtenverzeichnisse eines Geologen mögen vielen Unternehmern viel zu ausführlich erscheinen, aber sie enthalten bereits Angaben, die in die Planung der späteren Gewinnung und Aufbereitung eingehen müssen und die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung entscheidend beeinflussen. Die Bedeutung angemessen umfangreicher Erkundung und Analyse der Projektgegebenheiten wird schließlich an der unternehmerischen Erfahrung deutlich, dass der Leistungsberechnung, besser Leistungsabschätzung, und damit auch der Kostenkalkulation von Nassgewinnungsarbeiten trotz in den letzten 30 Jahren erheblich verbesserter Rechenansätze ein Fehler von $\pm 20\%$ anhaftet.

1.3 Genehmigungsplanung

Nachdem die Lagerstätte erkundet worden ist, muss zur Durchführung des Abbaus ein Genehmigungsverfahren durchgeführt werden. Dazu ist eine umfangreiche Genehmigungsplanung erforderlich, die im Wesentlichen folgende Themen beinhaltet:

- Abbauvorhaben und -konzept,
- Geologie und Hydrogeologie,
- Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) mit Abhandlung und Bilanzierung der Auswirkungen des Eingriffs auf die Schutzgüter gemäß Naturschutzgesetz (Mensch, Fauna und Flora, Wasser, Boden, Luft),
- Landschaftspflegerischer Begleitplan.

Im Rahmen einer Antragskonferenz, dem sog. Scopingtermin, wird das Abbauvorhaben den Trägern öffentlicher Belange (TÖB) vom Antragsteller erläutert und diskutiert. Als Diskussionsergebnis wird der im Antrag abzuhandelnde Untersuchungsrahmen festgelegt. Die Erstellung der sich anschließenden UVS erstreckt sich i.d.R. über 2 Entwicklungsphasen im Laufe eines Jahres und stellt den Zustand im Frühjahr sowie im Hochsommer fest. Parallel zur UVS erfolgen die erforderlichen geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen. Ziel der Untersuchungen ist es, eine Aussage über eventuelle Einflüsse und deren Auswirkungen, insbesondere deren Erheblichkeit und Nachhaltigkeit, zu treffen. Nach Vorlage der Untersuchungsergebnisse und Ausarbeitung der Antragsunterlagen werden diese an die TÖB verteilt und es erfolgt die Erörterung der Untersuchungsergebnisse im sog. Erörterungstermin. Im Anschluss an diesen ergeht der Planfeststellungsbeschluss.

Kies und Sand unterliegen nicht dem Bergrecht. Das gilt auch für Quarzsand, es sei denn, dass der Rohstoff bestimmte feuerfeste Eigenschaften ausweist und bei der Schmelzpunktuntersuchung durch Segerkugeltest ein Ergebnis von $F > 26$ erreicht wird. In diesem Fall findet das Bergrecht Anwendung.

Das Bergrecht wird jedoch beim Abbau von Kiessand im Bereich der Küstengewässer und teilweise im Bereich der neuen Bundesländer auf Grund alten Rechts angewandt.

Im Zuge der ökologischen Betrachtungen wird der Eingriff auf dessen Erheblichkeit und Nachhaltigkeit hin untersucht. Dabei ist der Eingriff häufiger erheblich, in den seltensten Fällen der Kiessandgewinnung jedoch nachhaltig.

Häufig ergibt sich die Erheblichkeit des Eingriffs für das Schutzgut Boden. Sie folgt aus dem Entfernen der obersten Schicht, sei es im Trockenen oder im Wasser, und damit verbundener Zerstörung von dort siedelnder Fauna und Flora. An dieser Stelle sind die Abbauplanung sowie die jeweils angewandte Nassgewinnungstechnik gefordert, den Eingriff zu minimieren. Um diese Fragestellung optimal zu beantworten, ist die genaue Kenntnis der Bodenverhältnisse, insbesondere der Tonanteile und deren mineralische Zusammensetzung, sowie des umgebenden Milieus, sei es Salz- oder Süßwasser, erforderlich. Die Tonanteile verhalten sich hinsichtlich ihres Absetzverhaltens je nach Tonmineral und Umgebungsmilieu unterschiedlich.

Die umfassende Erkundung kann darüber hinaus auch Aufschluss geben über etwaige Kontaminationen beispielsweise mit Schwermetallen, die sich an die Tone und Schluffe $< 20 \mu\text{m}$ anlagern. Bei Kenntnis der Schadstoffgehalte kann ggf. selektiv gebaggert und der belastete Boden entsprechend dem Belastungsgrad entsorgt werden.

Aber auch die Gestaltung der Aufbereitungsanlage und insbesondere deren Entwässerung nimmt bei Rückleitung von Waschwasser oder bei Durchführung der Rekultivierungsmaßnahmen gemäß landschaftspflegerischem Begleitplan Einfluss auf die Beurteilung der Erheblichkeit des Eingriffs.

Die Nachhaltigkeit des Eingriffs kann nur durch ein umfassendes Monitoring überprüft werden. Erfahrungsgemäß erfolgt die Wiederbesiedlung der Gewässersohle schon unmittelbar nach dem Eingriff. Die Taxa- und Individuenzahlen im Eingriffsbereich sind nach einem Zeitraum von weniger als 3 Jahren oftmals in gleicher Höhe wie vor dem Eingriff nachweisbar. Unterschiedlich mögen in Anpassung an die neuen Verhältnisse der Gewässersohle die widerspiegelnden Arten sein sowie die Biomasse. Letztere ist erwartungsgemäß nach dem Zeitraum von weniger als 3 Jahren oftmals geringer als vor dem Eingriff, da sich der Bestand erst voll entwickeln muss.

Aus vorstehenden Zusammenhängen wird die Bedeutung der nachstehend vorgenommenen ganzheitlichen Betrachtung von Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung deutlich. Auf die weiteren detaillierten Ausführungen in den jeweiligen Kapiteln wird verwiesen.

1.4 Nassgewinnung

Gewinnung von Sand und Kies erfolgt durch Baggern im Trockenen oder im Nassen. Das Wort „Baggern“ leitet sich vom indogermanischen Wortstamm „Blagh“ ab, was Schlamm bedeutet und ursprünglich „ein Wasserbett ausschlammen“ meint³.

Nassgewinnung und Aufbereitung von Sand und Kies setzen neben den montanistischen Fachbereichen weitere interdisziplinäre Kenntnisse voraus, deren Umfang deutlich wird, wenn man sich die Entwicklung der Baggergeräte seit der industriellen Revolution ab Beginn des 19. Jahrhunderts und die danach einsetzende Mechanisierung im Vergleich zur manuellen Nassgewinnung in der davor liegenden Zeit vor Augen führt.

In der die noch nicht mechanisierte Zeit des Bergbaus vor Erfindung der Dampfmaschine belegenden Abb. 1-7 ist die händische Gewinnung von Seifen durch Sklaven in Westindien dargestellt. In der Abb. 1-8 ist der Schneidkopfsaugbagger d'Artagnan dargestellt, der 2005 in Dienst gestellt wurde und zurzeit der größte Bagger seiner Art ist. Der Produktionsfaktor Arbeit ist nach weitestgehender Mechanisierung durch den Produktionsfaktor Kapital ersetzt worden.



Abb. 1-7 Manuelle Gewinnung durch westindische Sklaven im Seifenbergbau ⁸

Im Zusammenhang mit dem Abbau von Lockergestein im Nassen unterscheidet man zwischen

- Nassgewinnung (mine dredging), die bergmännische Baggerei ^{9, 10} mit schwimmendem oder landgestütztem Gerät aus dem Nassen zur Gewinnung von Rohstoffen und
- Nassbaggerei (dredging), die wasserbauliche Baggerei ¹¹ (capital dredging) mit schwimmendem Gerät zur Herstellung von Verkehrswegen, Kanälen, Hafenbecken (dredging in cut) und deren Unterhaltung (maintenance dredging), Aufspülung von Deichen oder Dämmen sowie zur Landgewinnung (dredging in fill). Dabei wird im englischen Sprachraum dredging als „das Herausbringen von Schluff etc. von der Meeres- oder Flussbettsohle“ verstanden ¹².



Abb. 1-8 Moderner Fels- Schneidkopfsaugbagger d'Artagnan ⁶

Die wesentlichen Aufgaben der Nassbaggerei sind in Tabelle 1-2 aufgelistet.

Tabelle 1-2 Arten der Nassbaggerei

	Art der Nassabgrabung	Erläuterung
1	Bodenabtrag	Die gewünschte Erdbewegung ist der Bodenabtrag. Das gelöste Baggergut muss abtransportiert werden (z.B. Hafen- und Kanalbaggerung)
2	Bodenaufspülung	Die gewünschte Erdbewegung ist die Auffüllung (z.B. Dämme und Deiche, Landgewinnung, Aufhaldung)
3	Bodenabtrag und -aufspülung	Die gewünschte Erdbewegung ist eine Kombination aus Bodenabtrag und -aufspülung (z.B. Kanal- und Hafenbau mit aufzuspülendem Gelände)

Bei Nassgewinnung handelt es sich mit Ausnahme der Herstellung von Endböschungen um Bodengewinnung, d.h. die nicht profilgerechte Nassabgrabung von Lockergestein bis hin zu Festgestein (leichtem Fels), und bedeutet im Einzelnen:

- das Lösen und Entfernen aus dem ursprünglichen Gebirgsverband sowie Heben des Baggergutes über die Wasserlinie (Nassgewinnung),
- ggf. das Abtrennen von für den Transport ungeeigneten Materials aus dem Baggergut (Voraufbereitung),
- den Transport des voraufbereiteten Bodens zur Verbringungsstelle (Rohrleitungs-, Förderband- oder Schutentransport),

- das Aufbringen des Baggergutes am Verbringungsort (subaquatische oder terrestrische Deponie, Vorhalde)

mittels Einsatz von i.d.R. schwimmendem Gerät unterschiedlicher Bauart und Größe.

1.4.1 Wasserbauliche Nassbaggerei

Zur wasserbaulichen Nassbaggerei gehören u.a. folgende Maßnahmen:

- Hafenbau mit Herstellung von Zufahrtskanälen, Wendebecken, Liegeplätzen sowie Bodenaustausch, z.B. im Bereich einer Kaje als auch Unterhaltungsbaggerei^{13, 14}
- Deichbau, z.B. Aufspülen des Dammkerns,
- Straßenbau, z.B. beim Bodenaustausch nicht tragfähiger Schichten, Auftrag von Dammkörpern und Frostschutzschichten,
- Landgewinnung, z.B. Aufspülung von Wohn- oder Industrieflächen, Vorspülung für Ufersicherung.

Das Gewinnungsgebiet und dessen lagerstättenkundlichen Gegebenheiten sowie dessen Umgebungsbedingungen nehmen entscheidenden Einfluss auf die Art des Gewinnungsgerätes sowie dessen Ausbildung und Bauweise. Es bedarf keiner weiteren Erläuterung, dass seegehendes Gerät wesentlich schwerer sein muss als terrestrisch eingesetzte Nassbagger.

Darüber hinaus hat größeres seegehendes Gerät oftmals einen eigenen Antrieb, während terrestrisch eingesetzte Nassbaggergeräte i.d.R. nicht selbstfahrend sind.

Wesentliches Merkmal der wasserbaulichen Nassbaggerei ist das profilgerechte Baggern von Abgrabungen. Dabei gewinnt die Toleranzbaggerung oftmals ziemliche Bedeutung, d.h. die technisch erforderliche Überbaggerung, um zu gewährleisten, dass das Soll-Profil vollständig abgegraben ist. Dabei sind zu unterscheiden die

- technisch erforderliche Toleranzbaggerung, die von mehreren Parametern abhängig ist, wie Positionierungseinrichtung des Baggers, Gerätegröße, Bodenart, Strömung, Wind sowie Wellenhöhe,
- tatsächlich ausgeführte Toleranzbaggerung, die im Wesentlichen von der Qualität des Baggerpersonals abhängig ist sowie
- bezahlte Toleranzbaggerung, deren Höhe von der vertraglichen Übereinkunft abhängig ist. Sie beträgt bei Einsatz kleinerer Geräte in vertikaler Richtung (T_v) i.d.R. 0,3 m, bei größeren 0,5 m. Die bezahlte horizontale Toleranz (T_h) beträgt i.d.R. 2,0 m.

In Abb. 1-9 sind Angaben zur Durchführung von Nassbaggerei in Abhängigkeit von den Einfluss nehmenden Parametern zu berücksichtigende Toleranzwerte aufgelistet. Weitere Ausführungen zur Frage des Toleranzbereiches sind der EAU (Empfehlungen des Arbeitsausschusses Uferauffassungen¹⁵) zu entnehmen. Auf die Frage der Baggertoleranzen im Bereich der Endböschungen einer Nassgewinnung wird in Kapitel 5 detailliert eingegangen.

Wasserbauliche Nassbaggerei findet im Gegensatz zur bergmännischen Nassgewinnung in einzelnen Fällen, z.B. beim Baggern von Cap Rock am Persischen Golf oder Korallenkalken, auch im leichten Fels statt. Dabei kann die Baggerung ohne Vorbehandlung, z.B. durch Lockerungssprengungen des abzugrabenden Materials, mit Großgeräten, wie der d'Artagnan, den sog. heavy duty dredger, erfolgen, die über hohe Leistungen am Lösewerkzeug von bis zu 6.000 kW am Schneidkopf verfügen. Damit werden Locker- und weiches Festgestein mit einaxialen Druckfestigkeiten von bis zu ca. 100 MPa direkt gebaggert. Günstig sind in diesem Fall bankig gelagerte Sedimentgesteine.

1.4.2 Bergmännische Nassgewinnung

Nassgewinnung wird immer dann angewendet, wenn der wesentliche Teil der Lagerstätte unterhalb des Wasserspiegels ansteht und eine Grundwasserabsenkung zu aufwändig ist oder sich aus ökologischen Gründen verbietet.

Nr.	Type of dredger	Size of the dredger	Stone		Net cohesive soil				Cohesive soil				Organic soil				Addition for tide per m ³ difference in waterheight	Addition for cross-current ± 1,5m/sec	Addition for heavy wave-attack				
			Blasted Rock		Weathered rock and softer stone		Stones		Gravel		Sand		Mud		Hard clay				Soft clay		P _{rel}	T _V	T _H
			T _H	T _V	T _H	T _V	T _H	T _V	T _H	T _V	T _H	T _V	T _H	T _V	T _H	T _V			T _H	T _V			
V-1	Bucket dredgers	Volume of buckets 50 - 200 litre 200 - 500 litre 500 - 800 litre	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	50	20	100	30	75	15	50	10	75	15	25	50	15		
			150	30	100	20	?	?	75	25	150	50	125	25	75	15	125	25	100	35	50	25	
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	?	?	100	35	200	60	150	30	100	20	150	30	125	45	100	75	
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	?	?	100	35	200	60	150	30	100	20	150	30	125	45	100	75	
V-2.1) V-2.2)	Dipper dredgers	Volume of dipper 0,5 - 2 m ³ 2 - 5 m ³																					
V-3.1) V-3.2) V-4)	Floating grab-dredgers	Volume of grab 0,5 - 2 m ³ 2 - 4 m ³ 4 - 7 m ³	100	50	100	25	?	?	75	50	100	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	50	30	75	40	25	15	
			200	75	200	50	?	?	150	75	200	50	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	150	75	150	75	50	25	
			250	100	250	75	?	?	200	100	300	75	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	250	100	250	125	50	75	
V-5	Cutler suction dredgers	Cutler 0,75 - 1,50 m 1,50 - 2,50 m 2,50 - 3,50 m	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	150	50	200	40	150	30	75	15	100	25	100	30	50	15	
			75	25	50	20	N.A.	N.A.	225	75	250	50	200	40	100	20	150	40	125	40	75	25	
			100	30	75	25	N.A.	N.A.	300	100	300	60	250	50	150	30	200	50	175	60	100	75	
V-6	Seagoing hopper-dredgers	Hopper capacity 500 - 2.000 2.000 - 5.000	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	500	150	1500	500	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-		
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1000	250	2000	750	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	
V-9)	Trailing hopper suction dredgers	Hopper capacity in metric tons 500 - 3.000 ton 3.000 - 6.000 ton 6.000 - 18.000 ton																					
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1000	-	1000	20	1000	30	N.A.	N.A.	1000	50	N.A.	250	100	0	
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1500	-	1500	50	1500	50	N.A.	N.A.	1500	75	N.A.	500	150	0	
			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1500	-	1500	75	1500	50	N.A.	N.A.	1500	100	N.A.	500	150	0	
			Slopes: When the actual angle of the slope is steeper than tg α = T _V / T _H																				
			The vertical tolerance is ruling when the angle of the slope is more gentle than tg α = T _V / T _H																				
			N.A. = not applicable																				

Abb. 1-9 Bagbertoleranzen verschiedener Schwimmbagger und Abgrabungsbedingungen¹⁶

Tabelle 1-3 In der Nassgewinnung hauptsächlich eingesetzte Nassbagger ¹⁷

Baggertyp	Kenngroße	Wassertiefe T [m]	Bodenart	sonstige Kriterien	Zusatz-ausrüstung
CSD	Durchm. Druckrohrltg DN [mm] 150<DN <350	3<T <80	rollig bindig	Wasserstandsänderungen, Max. Korndurchmesser <120mm Hindernisse (trunks, boulders), Wind, Wellen,	Schwimmleitung, Entwässerungsrads, Schute für Steine, Land-Förderband, Versorgungsboot, Vermessungseinrichtung
SD			rollig		
SD mit Druckwasser			rollig, bindig		
SD mit Traktorkette		7<T <150	rollig grob klastisch		
Airliftbagger					
GB (Dreh-, Katz- oder Portalgreifer)	Greiferinhalt V_G [m³] $2 < V_G < 8$	15<T <80	rollig klastisch		Vorabsiebung, schw. Förderband, Landband, Schuten
BL	Eimerinhalt V_E [l] $100 < V_E < 300$	3<T <30		Steine/Blöcke bis 300mm Durchmesser förderbar	Schuten, alternativ schwimmendes Förderband, Landförderband
BL mit Aufbereitungs- und Siloanlage		5<T <30			Austragsband für Schiffsbeladung
BL landgestützt		3<T <15			Austragsband für Förderband/LkW-Beladung
THSD	Laderaumvolumen V_H <1.000m³	5<T <20	rollig	Landspülanschluß, rainbowing, Klappvorrichtung	Austragsband für Schiffsbeladung
Schrapper	Gefäßinhalt V_S [m³] $2 < V_S < 10$	<12	rollig bindig Blöcke (Findlinge)	Strömungsgeschwindigkeit, Wasserstandsänderungen, Geschiebemenge	Gerät für Abtransport (per Gleis, LkW)

Neben dem Abbau von Kies und Sand gehört zur bergmännischen Nassgewinnung beispielsweise auch die Gewinnung von:

- Schwermineralien wie Titanerzen oder Zinn,

- alluvialem Gold,
- Diamanten oder auch
- Braunkohle.

Sollte sowohl Trocken- als auch Nassgewinnung des Lockergesteins technisch möglich sein, ist ein detaillierter Kostenvergleich beider Gewinnungsmethoden anzustellen, um die optimale Lösung auszuwählen. Dabei sind insbesondere folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Marktwert des Rohstoffs,
- Wasserzufluss,
- Umfang einer evtl. Grundwasserabsenkung,
- Ökologische Folgen der Grundwasserabsenkung,
- Transport von Gewinnung zu Aufbereitung,
- Aufbereitungsverfahren und
- Rückverbringungen nicht nutzbarer Stoffe.

In Tabelle 1-3 sind die in der Nassgewinnung eingesetzten wichtigsten Nassbaggerarten aufgeführt. Bei geringmächtigen Lagerstätten werden hin und wieder auch Geräte aus der Trockengewinnung eingesetzt, z.B. der landgestützte Eimerkettenbagger, der Schleppschaufelbagger oder der Schrapper.

Der Abbau von Kies und Sand erfolgt als Tagebau an Land häufig im Trockenem, hauptsächlich jedoch im Nassen, sowie im marinen Bereich als oberflächennaher Meeresbergbau. Besonders in Großbritannien und im Baltikum ist seewärtiger Kiesabbau sehr verbreitet. In beiden Fällen werden Abgrabungstiefen von bis ca. 100m erreicht.

Die Trockengewinnung von Lockergestein einschließlich Kies und Sand ist als Teilbereich der Tagebautechnik sehr ausführlich in der Fachliteratur beschrieben^{18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, so dass hierauf im Nachfolgenden nicht weiter eingegangen werden soll.

1.5 Aufbereitung von Kies und Sand

Zweck der Aufbereitung ist, den Kiessand als Rohstoff so zu konditionieren, dass die Komponenten des Rohstoffes bestimmte Qualitätsmerkmale und Lieferbedingungen erfüllen, die in Normen, Richtlinien oder Merkblättern niedergeschrieben sind. Denn aufgrund seiner Genese steht der Rohstoff nur sehr selten so an, dass er heutigentags ohne weitere Behandlung einem weiteren Verwendungszweck beispielsweise im Bauwesen mit hohen Lastanforderungen zugeführt werden kann.

Zunächst sind im Rohstoff Kiessand meist Verunreinigungen wie Holz, Torf, Ton, Pyrite oder Chloride u.a.m. enthalten, die zu minderen Qualitäten des Endproduktes Beton führen würden. Oder es sind besondere klimatische Anforderungen zu erfüllen, beispielsweise Frostbeständigkeit, die keine alkaliempfindlichen Anteile im Material zulassen. Schließlich sind die gereinigten Rohstoffe je nach beabsichtigtem Verwendungszweck in bestimmten Kornverteilungen zusammenzusetzen.

Der Bedarf an nach Korngröße gestuftem Material und dessen Wiederverwendung in verleimtem Boden ist schon mehrere tausend Jahre alt. Sand wurde mit Kalk als Bindemittel bereits im frühen Altertum durch die Römer zur Herstellung von Mörtel verwendet oder später auch Kies und Split beispielsweise zur Herstellung von Terrazzoplatten. Natürlich vorkommende karbonatisierte Kiese wie der sog. Nagelfluh mögen Beispiel für die Vorfahren gewesen sein, Kiese und Sande durch Zugabe von Bindemitteln wie Zement, Kalk oder Gips zu gestalterischer Tätigkeit zu nutzen.

Die Erfindung des Zements brachte dann den großtechnischen Einsatz der Zuschlagstoffe Sand und Kies. Weitere bahnbrechende Erfindungen für den Einsatz von Sanden und Kiesen waren die Methoden zur Produktion von Mörtel (Bochum, 1875), von Kalksandsteinen (Berlin, 1880) und von Transportbeton (Hamburg, 1903).

Im Zuge der Aufbereitung erfolgt eine Trennung natürlich gewachsener Stoffe oder Stoffgemische, hier Kies und Sand, in nutzbare Produkte und nicht verwertbare stoffliche Beimengungen des Rohstoffes. Die nutzbaren Produkte (Kornfraktionen) werden anschließend entsprechend den bestimmungsgemäßen Verwendungen nach den dafür aufgestellten Regeln aufbereitet. Zu Beginn des 16. Jahrhunderts setzte eine Entwicklung ein, die die Wasserkraft in erheblichem Umfange nutzte, um die für Aufbereitungseinrichtungen erforderlichen Kräfte zu erreichen und einzutragen. Ab ca. 1800 wird zunehmend die Dampfmaschine eingesetzt, um die Ausrüstungen wie z.B. Stoßherde anzutreiben, seit Ende des 19. Jahrhunderts liefert Strom die notwendige Energie.

Die Geschichte der Aufbereitung geht einher mit den Phasen der industriellen Revolution und setzt rasant um 1750 ein. In jüngster Zeit gehen in erheblichem Umfange die Merkmale der fortgeschrittenen industriellen Entwicklung ein. Das bedeutet z.B. auch die Anwendung der Informationstechnik zu Steuerung und Kommunikation mit dem Erfordernis hoher Qualifikation des zahlenmäßig im Vergleich zu früher wesentlich geringeren Personals.

Die heutige Entwicklung zielt im Wesentlichen darauf ab, mit den gegebenen Ressourcen schonend umzugehen. Eine möglichst vollständige Gewinnung und Nutzung des gewonnenen Rohstoffs wird angestrebt.

Mit zunehmend knapper werdenden Ressourcen auch des Rohstoffs Sand und Kies - weniger infolge von ausgehenden Rohstoffen sondern vielmehr wegen Nichtgewinnbarkeit infolge konkurrierender Nutzung des Abbaugebietes - findet die Herstellung von Betonen unter vermehrter Verwendung des Zuschlagstoffs Sand nach entsprechender Feinsandaufbereitung größeres Interesse. Mit der Verwendung korngestufte Sande geht auch eine Kostenersparnis beim Zusatz von Zement einher.

Die heute verfügbaren verfahrenstechnischen Möglichkeiten erlauben somit die Aufwältigung älterer Gewinnungsstätten, in denen zunächst nur die kieshaltige Deckschicht, nicht aber die Sande mit geringen Körnunggehalten, abgebaut und aufbereitet worden waren, zu marktwirtschaftlichen Bedingungen abzugraben, aufzubereiten und zu vermarkten.

Zielsetzung heutiger Aufbereitung ist, den kostbaren natürlich gewachsenen Rohstoff, und dazu gehört auch Kiessand, soweit wie möglich zu nutzen. Dies wird besonders deutlich an der Aufbereitung und weiteren Verarbeitung von vielleicht im Überschuss vorhandenen Sanden, wie in norddeutschen Lagerstätten häufig anzutreffen. Statt diese nach Aufbereitung im Tagebau oftmals ungenutzt, manchmal nur für Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt, wieder zu verkippen, sollten Lösungen gesucht werden, diese Materialien z.B. für Spezialbetone oder zur Minderung des Zementverbrauchs u.a.m. zu nutzen.

Bei der Kies- und Sandherstellung unterscheidet man folgende Aufbereitungsschritte:

- **Trennen**, bestehend aus
 - Vorsortieren (erfolgt meist bereits im Zuge der Nassgewinnung oder Entwässerung,
 - Waschen/Läutern,
 - Sortieren und Klassieren (im Wesentlichen mittels nasser Aufbereitung ausgeführt mit dem Ziel, z.B. bindiges, nicht frostbeständiges Material oder organisches Material wie Kohleflimmer, Laub oder Torf sowie chemische Beimengungen wie Chloride oder Sulfide zu entfernen sowie den Wertstoff in Fraktionen zu zerlegen),
 - Sedimentieren, Filtrieren.
- **Zerkleinern** (erfolgt meist nur sporadisch und oftmals im Fremdbetrieb, da bereits im Zuge der Nassgewinnung Material mit einem Korndurchmesser > 120 mm abgetrennt wird) besteht aus Prozessen wie
 - Brechen,
 - Mahlen,

- Desagglomerieren.
- **Lagern** in Silos oder auf Halden einschließlich der für die Aufhaltung der fertigen Produkte notwendigen Förderung.
- **Mischen** (Zusammensetzen von Mineralgemischen durch Feststoffmischen in einer Dosieranlage).

Aufbereitung von Kies und Sand hat sich in vorgeschichtlichen Zeiten auf eine trockene Klassierung beschränkt. Später dann mit zunehmendem Abbau von Böden mit stofflichen Beimengungen erfolgte eine Nassaufbereitung mittels Waschen auf einfachen Herden bzw. in umlaufenden Waschtrommeln.

1.6 Bewertung

Im Rahmen der Bewertung des Abbaus geht es

- einerseits um die Bewertung der Lagerstätte mit ihren gewinn- und nutzbaren Vorräten sowie
- andererseits um die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Abbautätigkeit nach Analyse der Kosten und Erlöse.

1.6.1 Lagerstättenwert

Häufig ergibt sich in Zusammenhang mit dem Ankauf einer Lagerstätte die Frage nach deren Verkehrswert, oder es steht die Frage nach einem angemessenen Förderzins. Unter Förderzins wird die Abgabe für die Gewinnung von Vorräten aus einer Fläche an den Eigentümer verstanden, die dem Abbautreibenden nicht gehört. Der Förderzins wird in €/t oder €/m³ abgebautem oder verkauftem Material erhoben.

Für die Bewertung von Lagerstätten werden verschiedene Methoden der Wertermittlung angewandt. So erfolgt eine Bewertung der Lagerstätte u.U. unter Heranziehung des jährlichen Ertragswertes der landwirtschaftlich genutzten Flächen, der entsprechend der Bewertung von beispielsweise Häusern mit einem Faktor zwischen 6 und 12 erhöht wird.

Eine weitere Methode wird insbesondere im Zuge der Bewertung von Lagerstätten durch den Fiskus angewandt, bei der ein Mittelwert des Verkaufspreises von Lagerstättenflächen einer Region gebildet wird. Diese Methode berücksichtigt jedoch nicht die spezifischen Lagerstättenmerkmale wie Mächtigkeit, Körnungsgehalte oder Verunreinigungen.

Eine dritte Methode ermittelt den Barwert des Zukunftserfolges der Abbautätigkeit. Bei dieser Methode werden berücksichtigt:

- der Substanzwert als auch
- der Ertragswert der Abbautätigkeit,
- der Ertragswert der Ackerkrume bis zu deren Verritzung sowie
- der Ertragswert der Nachfolgenutzung nach erfolgtem Abbau und dessen Rekultivierung.

1.6.2 Bewertung der Abbautätigkeit

Die Bewertung der Abbautätigkeit beginnt mit der Vorgabe von Plankosten und -erlösen für die verschiedenen Betriebsstellen, deren Einhaltung durch eine strenge Zuordnung der Ist-Kosten und -Erlöse zu überwachen ist.

In der Nassgewinnung als auch der Aufbereitung werden die Plankosten durch eine im Vergleich zur Zuschlagskostenkalkulation des Bauwesens einfache Divisionskalkulation ermittelt. Dabei werden die Kosten je Zeiteinheit, meist Woche oder Monat, abgeschätzt und durch die ermittelte Sollleistung je Zeiteinheit geteilt, um die Stückkosten in €/t zu erhalten.

In der Nassgewinnung haben Lohn-, Energie- oder Reparaturkosten quasi Fixkostencharakter. Etwaige Änderungen dieser Kosten während der Bauzeit wirken sich nur marginal aus. Erheblich dagegen kann der Einfluss der angenommenen Leistung auf die Stückkosten werden und zu erheblichen Mehrkosten führen, sollte die Gewinnungsleistung, z.B. durch falsche Beurteilung der Bodenverhältnisse, zu hoch angesetzt worden sein. Letzteres ist in gerichtlichen Auseinandersetzungen steter Streitpunkt zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer sowohl in wasserbaulicher Nassbaggerei als auch in bergbaulicher Nassgewinnung, wenn sie als Lohnbaggerei ausgeführt wird.

1.7 Rechnergestützte Planung von Nassgewinnung und Aufbereitung

Für die Planung von Tagebauen sind i.d.R. zu folgenden Komplexen Unterlagen zu erstellen:

- mögliche Produktsituation,

- lagerstättenkundliche Situation und der sich daraus ergebenden Abbau-planung unter Berücksichtigung der Standsicherheit von Böschungen,
- Menge der gewinn- und nutzbaren Vorräte,
- Auslegung der Gewinnungs- und Förderanlage,
- Auslegung der Aufbereitungs- und Verladeanlage.

Die Beantwortung solcher Fragestellung ist zeitgemäß nur mit Hilfe rechnergestützter Planungs- und Ausführungsprozesse möglich. Auch in der Kies- und Sandindustrie sollten solche EDV-Anwendungen einen angemessenen Platz bei Planung und Ausführung von Abbauvorhaben erhalten. Das weite Anwendungsgebiet von Kies und Sand berücksichtigend, sollte die Nutzung solcher Software in weit stärkerem Maße auch in der Kies- und Sandindustrie erfolgen und damit auch einen Beitrag liefern, dem ständigen Kostendruck besser entgegenzutreten zu können und unternehmerische Entscheidungen absichern zu helfen.

Neben betriebswirtschaftlichen und vermessungstechnischen Softwarelösungen, die hier nicht weiter diskutiert werden sollen, existieren für die Anwendung in der Kies- und Sandindustrie bisher Softwarekomponenten für ausgewählte Problemstellungen, jedoch selten für ganzheitliche Lösungen. Ausgewählte, im Markt verfügbare Software ist in Tabelle 1-4 aufgeführt. Sie dient beispielsweise im Bereich Erkundung

- der Darstellung der Lagerstätte in Lageplan und Querprofilen (Rissen),
- der Auswertung von Erkundungsergebnissen mittels
 - Schichtenverzeichnissen,
 - Kornverteilungskurven,
 - Darstellung der geotechnischen Kennwerte,
 - Vorratsberechnungen.

Hinzu kommen Programme für die Dimensionierung von Ausrüstungen der Aufbereitungsanlagen. Ganzheitliche Lösungen für Gewinnung und Aufbereitung unter Berücksichtigung von Varianten stehen jedoch nicht zur Verfügung.

Eine aktuelle Systemlösung auf diesem komplexen Gebiet ist SAGALO^{® 25} (System zur Anlagenplanung für Gewinnung und Aufbereitung von Lockergestein) unterstützt (Abb. 1-10). Dieses Softwaresystem betrifft:

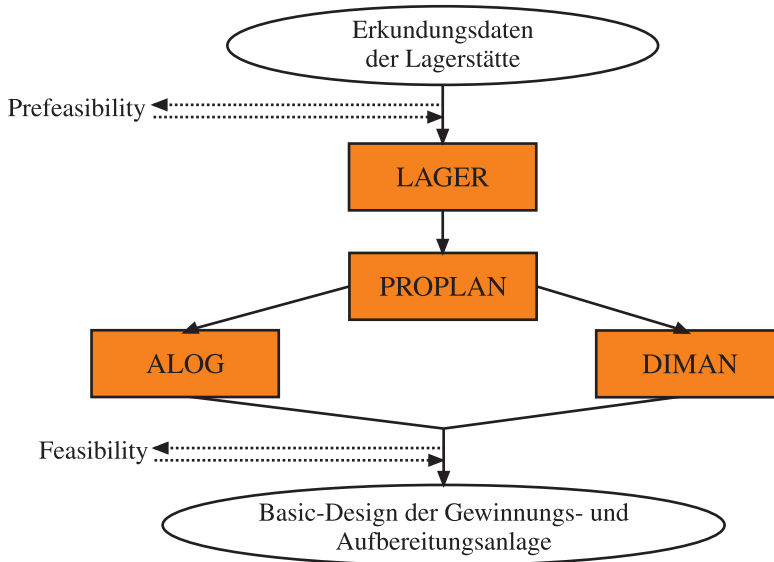


Abb. 1-10 Blockdiagramm Planungssystem SAGALO®

Tabelle 1-4 Auswahl von in der Nassgewinnung anwendbarer Software

Bereich	Darstellung	Software Name
Verwertung Lagerstättenda- ten	Lagerstätte	Surpac Datamine
	Lageplan, Rißwerk	Surfer, Arcview Geoplan
	Querprofil, Rißwerk	Grapher, Arcview
	Schichtenverzeichnis	TK Plot Fugro
	Kornverteilung	Fugro
Abbau	Abbauplanung	Datamine Surpac
	Standicherheit	Bösch
	Abbaukontrolle	MARPO_DGPS_K
	Mengenermittlung	HydroPack

- die Bestimmung der gewinn- und nutzbaren Lagerstättenvorräte unter Berücksichtigung der Standicherheit der Böschungen (Modul LAGER®) ^{120, 84},
- die Ermittlung der aus dem Vorrat herstellbaren Produktpalette (Modul PROPLAN®) ^{130, 131},

- die Auslegung der zu deren Abbau und Aufbereitung optimal erforderlichen Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen (Module ALOG[®] und DIMAN[®])^{139, 140}.

Die mit der Software SAGALO[®] darüber hinaus durchführbare Machbarkeitsstudie erlaubt dem Planenden bereits in sehr frühem Stadium, nämlich unmittelbar nach Vorliegen der Erkundungsergebnisse, eine Aussage darüber zu treffen, ob der Tagebau wirtschaftlich durchführbar sein wird. Dabei sind die Ergebnisse von SAGALO[®] als Vorstudien im Rahmen der Entwurfsplanung zu verstehen. Diese Ergebnisse sind, wenn nicht als Entwurfsplanung bereits ausreichend, im weiteren Entscheidungsprozess im Zuge der Ausführungsplanung z.B. des Lieferanten und ggf. durch Detailanalysen und Laborversuche zu vervollständigen.

SAGALO[®] wird in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich dargestellt und zwar in:

- Kapitel 3, Erkundung: Modul LAGER[®],
- Kapitel 4, Kies- und Sandprodukte: Modul PROPLAN[®],
- Kapitel 5, Nassgewinnung: Modul ALOG[®]^{26, 140},
- Kapitel 6, Aufbereitung: Modul DIMAN[®].

Aus wirtschaftlicher Sicht muss ein optimal geführter Tagebau das maximale wirtschaftliche Ergebnis bei minimaler Belastung der Umwelt liefern. Dabei entstehen Konflikte in der Planung und Durchführung des Tagebaus, die nur in ganzheitlicher Betrachtung optimal gelöst werden können. Die Anwendung der Software SAGALO[®] oder eines seiner Module hat folgende Zielsetzungen:

- Ermittlungen von Anlagenkonzepten in Anpassung an spezifische Unternehmenskonzepte,
- Ermittlung und Bewertung von Planungsalternativen,
- Aussagen zu technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen,
- Vorbereitung einer schnellen Investitionsentscheidung.

Die Software wird damit eine Entscheidungshilfe für Planungsabteilungen und Ingenieurbüros bei der Entwurfsplanung. Bei der Erarbeitung aller Module wurde prinzipiell wie folgt vorgegangen:

- Erfassung der Datengrundlage zur Definition der Problemstellung und der Zielsetzung,
- Aufstellung des Lösungsweges für die verfahrenstechnische Bilanzierung, Simulation und Wirtschaftlichkeitsrechnung,
- Entwicklung der erforderlichen Programmmodule zur Dateneingabe, Problembearbeitung und Ergebnisdarstellung.

Die Programmierung erfolgte in der Programmiersprache C++. Im Zuge der Systementwicklung wurden Methoden eingebracht, um im Programm

- eine bildschirmgestützte Dateneingabe und Ergebnisdarstellung zu erhalten,
- die Grunddaten und Projektdaten datenbankgestützt und projektbezogen zu speichern,
- durch heuristische Regeln technisches Wissen in Entscheidungen umzusetzen und
- lineare und nichtlineare Optimierungsalgorithmen zur Bilanzoptimierung anzuwenden.

Die erforderlichen Grundinformationen für die Anwendung des Systems SAGALO[®] und seiner Module LAGER[®], PROPLAN[®], ALOG[®] und DIMAN[®] werden im Zuge eines Kundeninterviews über betriebliche Anforderungen, wie z.B. Kapazität oder Arbeitszeit, sowie aus den Ergebnissen der Lagerstättenexploration ermittelt.

2 Genehmigungsplanung

Die Genehmigungsverfahren^{27, 28, 29, 30, 31, 32} dienen der Lösung des Konfliktes zwischen den verschiedenen Nutzungsinteressen. Ziel der Planung ist, die Voraussetzungen für einen Konsens aller beteiligten Interessenvertreter herzustellen.

Die konkurrierende Nutzung von Flächen wird am Beispiel der Gewinnung von Kies in der Nordsee deutlicher. Selbst die leer erscheinende Meeresfläche ist praktisch vollkommen verplant und durch die verschiedensten anthropogenen Nutzungen beansprucht, wie:

- Schifffahrt,
- Windparks,
- Erdgas- und Erdölgewinnung,
- Transitrohrleitungen,
- Forschungsarbeiten (Forschungsplattform),
- Naturschutzgebiete (Nationalparks, FFH-Gebiete, Gebiete gem. EU-Vogelschutzrichtlinie),
- fischereiliche Schutzzonen,
- militärische Schutzzonen und Sperrgebiete,
- Nachrichtenkabel, Postkabel.

Bei terrestrischen Lagerstätten erweitert sich dieser Katalog konkurrierender Nutzungen um:

- Siedlungsräume,
- Forst,
- Trinkwassergewinnungsgebiete,
- Verkehrswege und Transmissionsleitungen,
- archäologische und geologische Denkmäler.

Rohstoffsicherung, die immer auf einer nachhaltigen Nutzung der Natur beruht, ist ein öffentliches Interesse. Die Rohstoffgewinnung erhält damit eine grundsätzliche Berechtigung, unter Beachtung der einschlägigen Gesetze und Vorschriften durchgeführt werden zu können.

Der Konflikt zwischen Naturschutz einerseits und wirtschaftlichen Interessen andererseits nimmt im Zuge eines Genehmigungsverfahrens wesentlichen Raum ein.

An dem Genehmigungsverfahren für den Nassabbau terrestrischer Lagerstätten sind u.A. folgende Interessenvertreter beteiligt:

- Untere Naturschutzbehörde des zuständigen Landkreises,
- angrenzende Gemeinden,
- Landwirtschaftskammer (wenn die Flächen vor dem Abbau landwirtschaftlich genutzt werden),
- Amt für Agrarstruktur,
- Straßenbauamt

sowie die anerkannten Verbände.

Als Interessenvertreter im Falle einer bergrechtlichen Genehmigungsplanung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der deutschen Nordsee sind zu nennen:

- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr Schleswig-Holstein,
- Umweltbundesamt Berlin,
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg,
- Bundesamt für Naturschutz Insel Vilm,
- Marineunterstützungskommando Hamburg,
- Alfred-Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven,
- Ministerium für Natur, Umwelt und Forsten des Landes Schleswig-Holstein Kiel,
- Bundesforschungsanstalt für Fischerei Hamburg,
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord Kiel, Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven,
- Deutsche Telekom Bremen
- sowie die anerkannten Verbände.

Genehmigungsgeber ist das zuständige Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Clausthal-Zellerfeld.

2.1 Rechtsgrundlagen

Die Nassgewinnung regelt sich, sofern die Gewinnung des Rohstoffes nicht dem Bundesberggesetz (BBergG) unterliegt, nach den Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) und nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (Wesentliche Gesetze s. Anhang 1).

Das Bergrecht (BBergG) findet Anwendung bei Abbau von bergfreien Bodenschätzen fakultativ auch bei grundeigenen Bodenschätzen³³. Der Katalog der bergfreien Bodenschätze ist in §3 BBergG aufgeführt. Kies und Sand sind danach keine bergfreien Bodenschätze, es sei denn, es handelt sich um marine Vorkommen. Im Bereich des Hoheitsgebietes der ehemaligen DDR waren Kies und Sand bergfreie Bodenschätze. Die Rechtsangleichung erfolgte 1996. Deshalb wird auch heute noch eine große Zahl von Betrieben in den neuen Bundesländern nach Bergrecht geführt.

Weiter gelten die entsprechenden Vorschriften des jeweiligen Bundeslandes, z.B. das Abgrabungsgesetz in Nordrhein-Westfalen, sowie das Landesverwaltungsgesetz (LVerwG).

Im Zuge von Baumaßnahmen für Wasserstraßen anfallende Abgrabungen unterliegen dem Wasserstraßengesetz (WaStrG).

Jede Nassgewinnung ist in Deutschland vor deren Aufnahme im Zuge eines sog. Raumordnungsverfahrens raumzuordnen und anschließend im Zuge eines Planfeststellungsverfahrens zu genehmigen. Auch im Ausland sind heutigentags umfangreiche Umweltverträglichkeitsstudien, sog. EIA Studien (environmental impact assessment studies), auszuführen, auf deren Grundlage eine Abgrabungsgenehmigung zu erwirken ist.

Im Zuge des Raumordnungsverfahrens gemäß Raumordnungsgesetz (ROG) durch die zuständige Abteilung des Genehmigungsgebers, normalerweise des Landkreises, in dem der geplante Abbau liegt, ist nachzuweisen, dass das Vorhaben notwendig ist und keine Konflikte mit konkurrierenden Nutzungen bestehen. Der positive Bescheid des Raumordnungsbeschlusses muss spätestens zum Erörterungstermin des Planfeststellungsverfahrens vorliegen, um einen rechtskräftigen Planfeststellungsbeschluss herbeiführen zu können.

In den Landesplanungen der Bundesländer werden die Belange der Rohstoffsicherung unterschiedlich behandelt. Im Freistaat Sachsen beispielsweise werden im Landesentwicklungsplan von 2003 die Lagerstätten oberflächennaher Rohstoffe nach ihrer Sicherungswürdigkeit bewertet und kartenmäßig dargestellt. Dieses Kartenwerk bildet im Rahmen der Regionalplanung die Grundlage für die Entwicklung der Nutzungsprioritäten.

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sowohl nach Naturschutz-, Wasser- als auch Bergrecht erfolgt eine umfangreiche Umweltverträglichkeitsprüfung des Abbauvorhabens. Dabei sind die Auswirkungen des Vorhabens auf die im Naturschutzrecht festgelegten Schutzgüter durch den Genehmigungsgeber zu prüfen. Besonders strenge Anforderungen an eine Genehmigung gelten für Abgrabungen in Naturschutzgebieten, wie z.B. in Flora-, Fauna-, Habitat-Gebieten (FFH-Gebiete) oder Gebieten, die der EU-Vogelschutzrichtlinie unterliegen. Hier ist zusätzlich eine FFH-

Verträglichkeitsprüfung vom Genehmigungsgeber durchzuführen. Die Auswirkungen der Nassgewinnung können zu einem vollständigen Verbot der Abbautätigkeit führen, manchmal auch nur zu zeitlichen Beschränkungen, z.B. während der Laich- oder Brutzeiten.

Besonders schützenswerte Biotope können zum Versagen der Abbaugenehmigung führen, zumindest aber zu Ausgrenzung schützenswerter Bereiche aus dem Gewinnungsgebiet.^{34, 35,}

2.2 Schutzgüter

Im Antrag auf Genehmigung sind die Auswirkungen auf die Schutzgüter von dem Antragsteller im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie darzustellen^{36, 37} (Abb. 2-1). Gemäß BNatSchG sind seitens des Antragstellers evtl. Auswirkungen des Eingriffes auf folgende Schutzgüter abzuschätzen:

- Mensch,
- Boden,
- Wasser,
- Fauna und Flora,
- Klima,
- Luft,
- Landschaft,
- Kultur- und Sachgüter.

Wesentliche ökologische Einflüsse einer Nassgewinnung und ggf. auch der Aufbereitung ergeben sich u.U. aus:

- dem Eingriff in Fauna und Flora in Folge von Vernichten des Benthos und anschließendem Fehlen eines Gliedes in der Nahrungskette, z.B. bei mariner Gewinnung Gefährdung von Schweinswalen durch Wegbaggern deren Nahrung, den Sandaalen,
- Störung von Brutgebieten,
- Freilegen von Grundwasser mit der Folge von Schadstoffeintrag in das Grundwasser,
- Veränderung des Landschaftsbildes,
- dem Baggern von z.B. mit Schwermetallen belasteten Böden in Folge der Bildung von Suspensionen z.B. durch Entwässerung aus dem Greifer, nach Entwässerung des hydraulisch gewonnenen Baggergutes am Schöpfrad oder bei der Gewinnung mittels Laderaumsaugbagger aus Überlaufverlusten (Kapitel 5),

• Lärm und Staub.

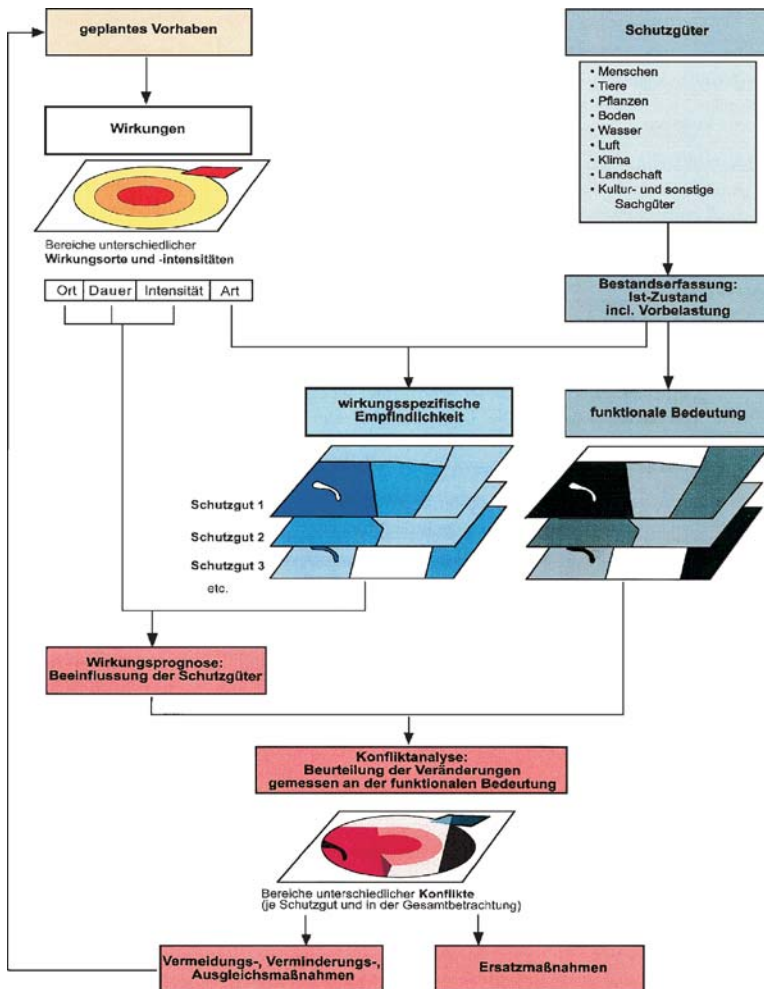


Abb. 2-1 Wirkungs- und flächenbezogene Vorgehensweise bei der Umweltverträglichkeitsstudie³⁸

Das Vorkommen von Schwermetallen im Bereich der Gewässersohle kann die Gewinnung u.U. durch die notwendig werdende besondere Gestaltung des Lösewerkzeuges beeinflussen. So kann u.U. der Einsatz eines geschlossenen Greifers oder Löffels oder besonders gestalteter, schälend abgrabender Lösewerkzeuge erforderlich werden.

Insbesondere bei offshore Gewinnung ist je nach Lage des Gewinnungsgebietes auf folgende Umstände zu achten^{39, 40}:

- Beeinträchtigung der Unterwasserlandschaft (Riffe und Sandbänke auch in größeren Wassertiefen⁴¹),
- Beeinträchtigung von Fisch- und Muschelbeständen durch Trübungsfahren,
- Erschwerung der Schleppnetzfisherei durch unregelmäßige Gewässer-
sohle nach Eingriff des Schleppkopfes des Laderaumsaugbaggers,
- Gefährdung der Landesschutzdeiche durch Erosion bei küstennahen
Abgrabungen,
- Gefährdung von Seekabeln und Rohrleitungen.

Schwimmbagger erzeugen Lärm mit unterschiedlichen Schallleistungspegeln (dB (A)). Bei Gewinnung in der Nähe bewohnter Siedlungen sind diese im Rahmen des Genehmigungsverfahrens in unterschiedlichen Abständen vom Bagger bis zum Siedlungsgebiet daraus resultierende Schalldrucke zu messen. Im Allgemeinen kann man von den in der Tabelle 2-1 aufgeführten Schallleistungspegeln ausgehen.

Tabelle 2-1 Schallleistungspegel verschiedener Schwimmbagger und Hilfsgeräte

Schwimmbagger/ Schute/Ausrüstung	Schallleistungspegel L_w [dB(A)]
Laderaumsaugbagger	110 – 112
Schneidkopfsaugbagger	110 – 115
Eimerkettenbagger	120 – 123
Stelzenpontonbagger	115 – 120
Baggerschuten 600m ³ – 2000m ³	109 – 111
Vermessungsboot	109 – 114

2.3 Rekultivierung und Folgenutzung

Bestandteil der Umweltverträglichkeitsstudie ist der Landschaftspflegerische Begleitplan (LBP), in dem die Wiedernutzbarmachung und Rekultivierung des Tagebaues geregelt ist. Dabei bleibt die Wiedernutzbarmachung durch möglichst naturnahe Gestaltung auf die Herstellung der verritzten Flächen für die geplante Folgenutzung beschränkt und dient damit der Rekultivierung durch Wiederherstellung einer neuen Kulturlandschaft nach schwerwiegender Störung oder Zerstörung der alten Kulturlandschaft durch menschliche Eingriffe⁴². Renaturierung ist ein Begriff aus dem gewässer- und naturnahen Wasserbau. Manchmal findet er auch beim Kies- und Sandabbau Anwendung, wenn verritzte Flächen einer natürlichen Sukzession überlassen werden sollen.

Durch die im LBP dargestellten Maßnahmen muss der Eingriff infolge des Abbaues mindestens ausgeglichen sein. Man unterscheidet Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen.

Die Notwendigkeit von Ersatzmaßnahmen ergibt sich, wenn die machbaren Ausgleichsmaßnahmen nicht ausreichen, die Auswirkungen des Eingriffs zu kompensieren, oder wenn diese z.B. bei mariner Gewinnung nicht möglich sind. Entschieden wird anhand einer Bilanzierung der Folgen des Eingriffes sowie der geplanten Ausgleichsmaßnahmen während und nach dem Abbau.

In Tabelle 2-2 ist beispielhaft ein Bewertungsrahmen zur Ableitung des Kompensationsbedarfs bei erheblichen und / oder nachhaltigen Beeinträchtigungen der Schutzgüter für den Bereich Unterelbe dargestellt^{43, 44}. Es werden hierzu gegenüber gestellt eine 5-stufige Bewertung des Ist-Zustandes der betroffenen Schutzgüter und die auftretenden Beeinträchtigungen nach Art und Dauer. Hier wird unterschieden in:

- Eingriffstyp A, der zu einem 100%igen Verlust aller Werte und Funktionen eines oder mehrerer Schutzgüter führt (Beeinträchtigung mit hoher Intensität) führt.
- Eingriffstyp B, der zu erheblichen und dauerhaften Teilverlusten der Werte und Funktionen eines oder mehrerer Schutzgüter führt (Beeinträchtigung mit mittlerer Intensität) führt.
- Eingriffstyp C, der zu erheblichen, jedoch nur vorübergehenden Verringerung der Werte und Funktionen eines oder mehrerer Schutzgüter führt (Beeinträchtigung mit geringer Intensität). Es wird davon ausgegangen, dass sich der Ausgangszustand in weniger als 5 Jahren wieder einstellt.
- Rückverfüllung mit unbelastetem Boden und anschließender landwirtschaftlicher Nutzung. Diese ist oftmals wegen des nach Rückverfüllung qualitativ schlechteren Bodens nicht die vor dem Abbau erfolgte Nutzung wie z.B. Ackerbau sondern u.U. nur Weidewirtschaft.
- Widmung für den Naturschutz, z.B. durch Anlage von Schilf- und Flachwasserzonen und Ausbildung von Steilufern dem Naturschutz oder durch Anlage von Trockenrasen Schaffung wertvoller Biotope.
- Widmung der Freizeitgestaltung durch Anlage von Badestränden mit entsprechender Ausgestaltung der Badezone durch Herstellen einer Gewässersohle mit einer Neigung von H:L = 1:10 oder durch Bau von Wasserskianlagen.

Tabelle 2-2 Bewertung eines Eingriffs im Zuge der Elbevertiefung

Bewertungsrahmen zur Ableitung des Kompensationsbedarfs bei erheblichen und/oder nachhaltigen Beeinträchtigungen der Schutzgüter				
Angaben zu den erheblich beeinträchtigten Schutzgütern aus der UVU		Angaben zur Intensität der Beeinträchtigung		
Beeinträchtig-te Werte und Funktionen	Wertstufen der beeinträchtigten Werte und Funktionen	Eingriffstyp A	Eingriffstyp B	Eingriffstyp C
		Eingriffs-Ausgleichs-Verhältnis bei erheblicher und nachhaltigen Beeinträchtigungen mit Totalverlust der Werte und Funktionen	Eingriffs-Ausgleichs-Verhältnis bei erheblicher und nachhaltigen Beeinträchtigungen mit Verringerung der Werte und Funktionen	Eingriffs-Ausgleichs-Verhältnis bei erheblichen, aber nicht nachhaltigen Beeinträchtigungen mit vorübergehender Verringerung der Werte und Funktionen
Schutzgut-bezogene Angaben	sehr gering (Wertstufe 5)	1:1	1:0,9	1:0,02
	Gering (Wertstufe 4)	1:1,2	1:1	1:0,05
	Mittel (Wertstufe 3)	1:1,5	1:1,2	1:0,1
	Hoch (Wertstufe 2)	1:2	1:1,5	1:0,2
	sehr hoch (Wertstufe 1)	1:3	1:2	1:0,5

Die geplanten Ausgleichsmaßnahmen werden wesentlich von der Folgenutzung des abgebauten Geländes beeinflusst. Die Nachfolgenutzung kann sein:

- Widmung der fischereirechtlichen und der jagdlichen Nutzung sowie
- Mischnutzungen.

Ersatzmaßnahmen können z.B. die Förderung öffentlicher Naturschutzprojekte sein, wie die Anlage von Salzwiesen, Einrichtung von Schutzzonen, Anlage von Muschelbänken oder Steinschüttungen zur schnelleren Ansiedlung von Makrozoobenthos.

Bereits im Antrag auf Abbaugenehmigung ist die Folgenutzung des Abbaubereiches vom Antragssteller festzulegen und zu beschreiben. Im Zuge der Folgenutzung können die ehemaligen Abbauflächen dann im Eigentum des Abbautreibenden verbleiben oder an Dritte abgegeben werden.

Die Gestaltung eines Baggersees kann sehr vielfältig sein. Zur Gestaltung der Morphologie des Ufers können nicht nutzbare Feinsande verwendet werden. Mittels solcher überschüssigen Materialien können z.B. Buchten geschaffen werden oder Flachwasserzonen, die nach Abgrabung und entsprechender Bepflanzung oftmals zu einer verbesserten ökologischen Bewertung des Gebietes führen. Wichtig dabei ist, das zu gestaltende Gebiet durch vorzeitige anthropogene Nutzung zu schützen, um Zerstörung zu vermeiden. Sinnvolle Schutzmaßnahmen sind die Anlage von breiten und ausreichend tiefen Wassergräben als auch die Abschirmung durch mehrzügige stachelige Buschhecken. Bei Freizeitnutzung ist für ausreichende infrastrukturelle Erschließung durch Zuwegungen, Parkplätze, Sanitäreinrichtungen zu sorgen. Erfahrungsgemäß ist bei fischereilicher Nachfolgenutzung das Gelände am wenigsten durch Besucher beeinträchtigt.

2.4 Ablauf des Genehmigungsverfahrens

Das Genehmigungsverfahren für den Abbau hat den Planfeststellungsbeschluss des Genehmigungsgebers zum Ziel.

Die Schritte eines Genehmigungsverfahrens nach NWG (Niedersächsisches Wassergesetz) sind nachstehend aufgeführt.

2.4.1 Antragskonferenz

Das Vorhaben wird den Trägern öffentlicher Belange und den anerkannten Verbänden unter Leitung des Genehmigungsgebers vom Antragsteller vorgestellt und der Umfang der beizubringenden Antragsunterlagen zwischen Antragsteller, Genehmigungsgeber und Verfahrensbeteiligten wird abgestimmt. Dazu ist vom Antragsteller eine Tischvorlage auszuarbeiten, dem der Antragsgegenstand und der vorgesehene Untersuchungsrahmen zu entnehmen sind. Der Scopingtermin (Antragskonferenz) wird vom Genehmigungsgeber festgesetzt und findet i.d.R. 2 Monate nach Verteilen der Tischvorlage statt. Die Festlegungen der Antragskonferenz sind nicht bindend. Es können im Laufe des Verfahrens weitere Untersuchungen gefordert werden, sollten neuere Erkenntnisse gegenüber dem Stand der Antragskonferenz vorliegen. Weitere Untersuchungen können ggf. auch im Erörterungstermin festgelegt werden.

2.4.2 Durchführung der Untersuchungen

Die in der Antragskonferenz festgelegten Untersuchungen können i.d.R. im Laufe eines Jahres ausgeführt werden. Dabei nehmen die ökologischen Untersuchungen die meiste Zeit in Anspruch, da der Zustand von Fauna und Flora im Frühjahr und Spätsommer zu ermitteln ist.

2.4.3 Antrag auf Genehmigung

Der Antrag auf Genehmigung des Abbauvorhabens ist mit den entsprechenden Fachgutachten zur Lagerstätte einschl. Hydrogeologie, zum Abbau und zur Aufbereitung einschl. Betrachtung der Lärm- und ggf. Staubentwicklung, der zusätzlichen Verkehrsbelastung sowie der UVS mit Landschaftspflegerischen Begleitplan beim Genehmigungsgeber einzureichen.

Um das Verfahren zu beschleunigen, sollte der Antrag in abzustimmender Kopienzahl gefertigt werden, so dass die TÖB unverzüglich Kenntnis erhalten und nicht erst auf die Kopie der zunächst benachrichtigten Behörde zu warten haben. Die Kopienzahl kann deshalb bis zu 60 Stück betragen, abhängig von der Zahl der Verfahrensbeteiligten.

2.4.4 Erörterung des Antrags

Nach Prüfung der Unterlagen auf Vollständigkeit durch den Genehmigungsgeber gehen die Antragsunterlagen an die Verfahrensbeteiligten. Diese haben binnen 2 Monaten Stellung zu nehmen. Fristverlängerungen für die Vorlage der Stellungnahme bei schwierigen Fragen sind möglich. Gleichzeitig wird der Antrag öffentlich ausgelegt.

Die Stellungnahmen der Träger öffentlicher Belange (TÖB) werden dem Antragsteller zur Kenntnis gebracht.

Die Erörterung des Antrags und der Stellungnahmen der TÖB erfolgt anlässlich des vom Genehmigungsgeber festgesetzten Termins in Gegenwart der Verfahrensbeteiligten. Nach Erörterung von Einwendungen muss der Genehmigungsgeber im Rahmen seines Planfeststellungsbeschlusses über den Antrag entscheiden. Für die Fertigung des Planfeststellungsbeschlusses wird erfahrungsgemäß ein Zeitraum von ca. 3-4 Monaten benötigt.

2.4.5 Planfeststellungsbeschluss

Der Planfeststellungsbeschluss regelt die Abbautätigkeit im festgelegten Abgrabungszeitraum. Dieser beträgt bei terrestrischen Vorkommen oftmals nur wenige Jahre, in Baden-Württemberg beispielsweise i.d.R. nicht mehr als 15 Jahre. Bei den vorzunehmenden hohen Investitionen ist dies ein sehr kurzer Zeitraum. Nach Bergrecht kann die Abgrabungsdauer und damit die Dauer des Rahmenbetriebsplans (RBP) langfristiger festgelegt werden, i.d.R. auf 30 Jahre. Sie kann max. 50 Jahre betragen.

Der Planfeststellungsbeschluss regelt im Einzelnen die Vorgaben für die Gewinnung, die Aufbereitung und die Rekultivierung. Ggf. legt der Planfeststellungsbeschluss auch den Umfang eines Monitoring fest.

Durch das Monitoring beim späteren Abbau ist nachzuweisen, dass einerseits die Vorgaben des Genehmigungsbeschlusses bzw. des RBP's eingehalten worden sind und andererseits die Prognose der Umweltverträglichkeitsstudien über die Auswirkung des Eingriffs auch tatsächlich eintreffen. Das Monitoring kann sich auf die Ausbildung der Böschungen im Laufe der Nassgewinnungsarbeiten, insbesondere der Flachwasserzonen erstrecken und/oder auf die Entwicklung des Makrozoobenthos, die Wasserqualität einschließlich Bildung von Trübungen sowie Kontrolle sonstiger Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses.

Bei Genehmigungen nach Bergrecht ist der Ablauf des Verfahrens prinzipiell der gleiche wie oben beschrieben. Der Antrag des Abbautreibenden erfolgt jedoch auf Zulassung eines RBP bei der zuständigen Bergbehörde. Dem Antrag geht die Erteilung einer Aufsuchungserlaubnis voraus, aufgrund derer die Lagerstätte aufgesucht werden kann. Nach Vorlage des Aufsuchungsberichtes und Antrag wird eine Bewilligung für den Bodenschatz Kies und Sand erteilt. Die Bewilligung des Bodenschatzes bedeutet jedoch noch nicht die Erlaubnis, diesen abgraben zu dürfen. Diese ist erst mit rechtskräftiger Zulassung des RBP gegeben.

Die Ausführung der Abbauarbeiten ist durch den sog. Hauptbetriebsplan (HBP) geregelt, nachdem der RBP zugelassen ist. Eine Ausnahmeregelung kann der vorzeitige Beginn der Abbautätigkeit nach §54 BBergG sein.

Erfahrungsgemäß dauert ein Genehmigungsverfahren von der Entscheidung, den Abbau zu beantragen, bis zu dessen Genehmigung mindestens 3-4 Jahre, manchmal sogar 10 Jahre.

2.5 Fallbeispiele Genehmigungsplanung

Nachfolgend sollen 2 Fallbeispiele kurz dargestellt werden, und zwar die Genehmigungsplanung des Nassabbaus einer terrestrischen Lagerstätte in

Nordrhein-Westfalen und eines marinen Kiesvorkommens in der AWZ der Nordsee.

2.5.1 Genehmigung eines terrestrischen Vorkommens

2.5.1.1 Rechtsgrundlage

- Landesplanung

Im Landesentwicklungsplan (LEP) Nordrhein-Westfalen (Stand Mai 1995) ist das Gebiet der Lagerstätte als Bereich für Grundwasservorkommen ausgewiesen. Diese Bereiche sind für die öffentliche Wasserversorgung bereit zu halten, sofern sie nicht schon herangezogen werden.

Die nördlich der Lagerstätte liegende Flussniederung ist teilweise als Gebiet zum Schutz der Natur dargestellt und als wertvolle Kulturlandschaft ausgewiesen. Darüber hinaus sind kleinflächige Waldbestände ausgewiesen. Die bestehenden Ackerflächen der Niederterrasse sind im LEP als Freiraum gekennzeichnet.

- Regionale Raumordnungsplanung

Auf regionalplanerischer Ebene stellt der Gebietsentwicklungsplan (GEP) die regionalen Ziele der Raumordnung und Landesplanung dar. Laut GEP ist die Flussniederung gekennzeichnet als Bereich für den Schutz der Natur und als Bestandteil eines in Ost/West-Richtung verlaufenden regionalen Grünzuges.

Das Antragsgebiet ist als Bereich für den Schutz der Landschaft und der landschaftsorientierten Erholung ausgewiesen. Nördlich der Flussniederung sind Bereiche zum Schutz des Grundwassers und der Gewässer vorgesehen. Südlich des geplanten Vorhabens sind ein Kanal als Wasserstraße und die angrenzenden Siedlungsgebiete als Bereich für gewerbliche und industrielle Nutzung sowie als allgemeine Siedlungsbereiche gekennzeichnet. Sowohl südlich als auch östlich und westlich des Antragsgebietes erstreckt sich ein Wirtschaftszentrum.

- Flächennutzungsplan

Die bestehende bzw. geplante Nutzung des Abbaugbietes wird von der zuständigen Gemeinde/Stadt in Flächennutzungsplänen dargestellt. Große Bedeutung kommt dem westlich der Lagerstätte angrenzenden Wirtschaftszentrum zu. Aufgrund seiner Gewerbeflächenpotentiale und seiner auch im europäischen Maßstab hervorragenden Lage im Raum

bietet das Wirtschaftszentrum dem Antragsteller regional bedeutsame Entwicklungschancen.

2.5.1.2 *Schutzausweisungen und Entwicklungsziele*

- **Naturschutzgebiete (NSG)**

Das als Naturschutzgebiet ausgewiesene Altgewässer nördlich der Flussniederung und die umliegenden Weideflächen gehören zu einem "NSG Komplex" und sind Bestandteil eines Natura 2000 Gebietes. Dieses ist zu großen Teilen als § 62 Biotop ausgewiesen (GB_4306_005 / Auwald und Stillgewässer, GB_4306_007 / Magerwiese und Weide, GB_4306_008 / Magerwiese und Weide, Binnendüne). Weitere § 62 Biotope liegen im westlichen Teil der Lagerstätte (GB_4306_243 / Trocken- und Halbtrockenrasen, Magerwiesen und -weiden) und entlang des östlichen Niederterrassenvorsprungs (GB_4306_245 / Trocken- und Halbtrockenrasen). Die zum Gebiet gehörigen Flächen unterliegen gemäß Landschaftsplan (1988) dem Landschaftsschutz.

- **Wasserschutzgebiete**

Nördlich der Flussniederung, außerhalb des Vorhabensgebietes, erstrecken sich verschiedene Wasserschutzgebiete / Wasserschutzzonen. Zwischen Umspannwerk und dem Flurstück 'A' ist eine Wasserschutzzone III A festgesetzt. Am Flurstück 'D' ist ein Brunnen vorhanden, für den eine Festsetzung als Wasserschutzzone I besteht. Um den Brunnennahbereich ist die Wasserschutzzone II festgesetzt.

- **Bau- und Bodendenkmale**

Im Gebiet sind nach Aussage des Genehmigungsgebers des zuständigen Amtes für Bodendenkmalpflege keine Bau- und Bodendenkmäler sowie denkmalgeschützten Gebäude verzeichnet.

- **Flussniederungsprogramm**

Die Flussniederung ist als ökologische Ost-West-Verbindungsachse von Bedeutung für den landesweiten Biotopverbund. Im Rahmen des landesweiten Gewässerauenprogramms wird im Flussniederungsprogramm die ökologische Entwicklung und Erhaltung ihrer Überschwemmungsräume angestrebt. Vorgesehen sind die Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im Auenbereich und die Wiederherstellung einer möglichst naturnahen Gewässerdynamik. Im Flussniederungsprogramm wurden folgende Entwicklungsziele für das Gebiet definiert:

- Entwicklung einer naturnahen Flussdynamik / eines naturnahen Flusslaufes.
- Entwicklung einer naturnahen Auenlandschaft.
- Erhaltung / Optimierung und Entwicklung einer kulturgeprägten Auenlandschaft mit Biototypen sehr hoher Bedeutung als Lebensraum für Tiere und Pflanzen.

Im Landschaftsplan des Genehmigungsgebers ist folgendes Entwicklungsziel für den Bereich der Flussniederung formuliert:

- Anreicherung einer im Ganzen erhaltungswürdigen Landschaft mit naturnahen Lebensräumen und mit gliedernden Elementen. Die vorhandenen Lebensräume und Landschaftselemente sind zu erhalten, zu pflegen und weiter zu entwickeln. Der Entwicklungsraum ist durch biotopvernetzende Gehölzpflanzungen in seiner Biotopstruktur zu ergänzen. Vorhandene Lebensräume und Gehölzstrukturen sind zu erhalten und zu pflegen. Die Grünlandnutzung ist aus Gründen des Erosionsschutzes und des Biotop- und Artenschutzes beizubehalten. Erforderliche Sicherungsmaßnahmen an den Flusssufern sind nach den Grundsätzen einer naturnahen Unterhaltung durchzuführen.
- Sonstige Vorgaben und Planungen. Im Bereich der Lagerstätte ist ein Rad- und Wanderweg hergestellt worden.

2.5.1.3 Methodik und Gliederung der Umweltverträglichkeitsstudie

Gemäß § 3 (6) Abtragungsgesetz NRW bedarf das Vorhaben infolge der vorliegenden Größenordnung von mehr als 50 ha der Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Anhand einer Umweltverträglichkeitsstudie werden voraussichtliche Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt im Sinne einer Umweltvorsorge vom Antragsteller abgeschätzt. Bei der Bestimmung der zu erwartenden Risiken des Vorhabens auf die Umwelt werden

- bau-,
- betriebs- und
- anlagebedingte

Beeinträchtigungen unterschieden.

Im Zuge der UVS folgt

- die Bestandsbewertung sowie
- die Prognose der Auswirkungen des Abbauvorhabens auf die Schutzgüter.

Die Gliederung der UVS erfolgte nach folgendem Schema:

1. Einleitung
 - 1.1. Vorhabensbeschreibung
 - 1.2. Gesetzliche Rahmenbedingungen
 - 1.3. Bestehende Raumplanungen und landschaftsplanerische Ziele
 - 1.4. Generelle Vorgehensweise der UVS
 - 1.5. Schutzgüter und ihre Wechselwirkungen
 - 1.6. Zu untersuchender potentieller Anlass
 - 1.7. Untersuchungsgebiet
 - 1.8. Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt
 - 1.9. Untersuchungsumfang
2. Bestand und Bewertung der Schutzgüter
 - 2.1. Boden
 - 2.2. Wasser
 - 2.3. Pflanzen
 - 2.4. Tiere
 - 2.5. Luft
 - 2.6. Klima
 - 2.7. Landschaft
 - 2.8. Mensch
 - 2.9. Kultur- und Sachgüter
 - 2.10. Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern
3. Wirkungsprognose und Konfliktanalyse der Schutzgüter 2.1–2.10
4. Minderungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen
 - 4.1. Darstellung des Rekultivierungskonzeptes
 - 4.2. Betrachtung der Schutzgüter 2.1–2.10
 - 4.3. Ausgleichsbilanz
 - 4.4. Kostenschätzung
5. Variantenvergleich
 - 5.1. Nullvariante
 - 5.2. Ausführungsvariante
 - 5.3. Wirkungsprognose und Konfliktanalyse
 - 5.4. Vergleich der Varianten
6. Zusammenfassung
 - 6.1. Beschreibung der Schutzgüter 2.1–2.10
 - 6.2. Ausgleichsbilanz und Vergleich mit der Nullvariante

Als Ergebnis wurde festgestellt, dass mit dem Vorhaben ein herausragender gesellschaftlicher Mehrwert verbunden ist, da zusätzlich zu der zukünftigen Widmung des vom Abbau betroffenen Bereiches für den Naturschutz eine naturnahe Entwicklung der Flussniederung realisiert wird.

Die nördlich des Abbaubereiches gelegene Flussniederung lässt sich unter Berücksichtigung des Flussniederungsprogramms in dem hier betrach-

teten Bereich durch entsprechende Maßnahmen aufwerten. Durch diese Aufwertung und die funktionale Vernetzung mit dem nach Abgrabung verbleibenden Baggersee kann eine naturnahe, standortgemäße und vielschichtige Biotopentwicklung initiiert werden. Hierdurch wird der Biotopverbund innerhalb der Flussniederung gestärkt.

Als Maßnahmen im Bereich der Lagerstätte sind vorgesehen:

- Extensive Beweidung,
- Anlage von Pionierflächen,
- Natürliche Entwicklung / Sukzession einer Grünlandbrache,
- Aufforstung von Laubwald / Auenwald,
- Umwandlung / Umbau von Nadelwald in Laubwald / Auenwald,
- Umwandlung / Umbau von Nadelwald in Laubwald,
- Anlage von Blänken,
- Pflanzung von Kopfbäumen,
- Pflanzung von Einzelbäumen,
- Entfesselung der Ufer.

2.5.2 Genehmigung einer marinen Kiessandgewinnung

2.5.2.1 *Rechtsgrundlage*

Nach dem Bundesberggesetz wird im Zuge eines Rahmenbetriebsplanverfahrens eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) entsprechend der Anforderungen von § 57 a BBergG durchgeführt, wenn Vorschriften nach § 57 c BBergG erlassen wurden, die für den Vorhabentyp eine UVP erforderlich machen.

Diese Vorschrift besteht in der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau). In § 1 sind unter 1. b) aa) Tagebaue mit einem Flächenbedarf von mehr als 10 ha genannt, unter 1. b) bb) die Umgestaltung von Gewässern. Da der Flächenbedarf des Abbauvorhabens wesentlich größer ist und der Gewässergrund umgestaltet wird, ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich.

Nach § 2 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-G 2000) ist die "Umweltverträglichkeitsprüfung ein unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben dienen". Ein solches Verfahren ist das beantragte Planfeststellungsverfahren. Die UVP umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Wirkungen eines Vorhabens auf die Schutzgüter (§ 2 (1) 2 UVP-G): Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden,

Wasser, Luft, Klima und Landschaft einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen sowie Kultur- und sonstige Sachgüter.

Die Umweltverträglichkeitsstudie ist das für eine UVP erforderliche Fachgutachten, das nach BBergG § 57 a) Abs. 2 vom Vorhabensträger zusammen mit anderen entscheidungserheblichen Unterlagen vorzulegen ist.

Nach dem BBergG müssen in der UVS insbesondere folgende Angaben enthalten sein: Eine Beschreibung der zu erwartenden erheblichen Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt unter Berücksichtigung des allgemeinen Kenntnisstandes und der allgemein anerkannten Prüfungsmethoden, alle sonstigen Angaben, um solche Auswirkungen feststellen und beurteilen zu können, sowie eine Beschreibung der Maßnahmen, mit denen erhebliche Beeinträchtigungen der Umwelt vermieden, vermindert oder soweit möglich ausgeglichen werden, sowie der Ersatzmaßnahmen bei nicht ausgleichbaren, aber vorrangigen Eingriffen in Natur und Landschaft. Die Festlegung von Vermeidungs-, Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen ist Gegenstand des Landschaftspflegerischen Begleitplans.

Verbindliche Maßstäbe für die Festlegung der Erheblichkeit von Beeinträchtigungen existieren nicht ⁴⁵. Zur Bestimmung der Erheblichkeitsschwelle sind daher die Ziele und Grundsätze des BNatSchG sowie regionale und kommunale Leitbilder des Naturschutzes heranzuziehen.

Als erheblich bzw. nachhaltig sind nach dem Landesamt für Natur und Umwelt (LANU) in Kiel (1996) generell Beeinträchtigungen von Funktionen mit besonderer Bedeutung für die nachhaltige Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes bzw. des Landschaftsbildes einzustufen. Mögliche Beeinträchtigungen, die auf Funktionselemente mit allgemeiner Bedeutung einwirken, sind im Einzelfall zu prüfen. In der Neufassung des BNatSchG kommt der Begriff der Nachhaltigkeit in diesem Zusammenhang nicht mehr vor.

§ 57 a (2) BBergG regelt die gesetzliche Verpflichtung zur Vermeidung und zum Ausgleich von Eingriffen in Natur und Landschaft. Verbleiben trotz der Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen noch Eingriffe in Natur und Landschaft, so sind diese durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege innerhalb eines angemessenen Zeitraumes auszugleichen. Ein Ausgleich ist erreicht, wenn nach Beendigung des Eingriffs keine erhebliche oder nachhaltige Beeinträchtigung des Naturhaushaltes zurückbleibt. Ist ein Eingriff nicht ausgleichbar, so sind die beeinträchtigten Werte und Funktionen an anderer Stelle zu ersetzen.

Wegen der Lage wesentlicher Teile des Abbaufelds innerhalb des FFH Meldegebiets DE 1209-301 "Sylter Außenriff" und in räumlicher Nähe des gemeldeten Vogelschutzgebiets DE 1011-401 "SPA Östliche Deutsche Bucht" ist eine FFH-Verträglichkeitsprüfung nach § 34 BNatSchG erforderlich.

2.5.2.2 Methodik und Gliederung

Die Methodik bei der Anfertigung der UVS umfasst und strukturiert die Arbeitsschritte von der Systembeschreibung (Ist-Zustand) bis zur Prognose und Bewertung von Auswirkungen. Die Darstellung erfolgt jeweils separat für die einzelnen Schutzgüter Boden, Wasser, Pflanzen, Tiere, Luft, Klima, Landschaft und Mensch sowie für Kultur- und Sachgüter und beinhaltet die Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern.

Der Ablauf der UVS mit integriertem LBP orientiert sich dabei an folgenden Bearbeitungsschritten ⁴⁶:

- Die Vorhabensbeschreibung und die Darstellung der potenziell denkbaren projektbedingten Wirkungen sind darzustellen.
- Es ist die Bestandserfassung und Darstellung der funktionalen Bedeutung, getrennt für jedes Schutzgut vorzunehmen.
- Unter Einbeziehung der funktionalen Bedeutung des Ist-Zustandes der Schutzgüter erfolgt die Beurteilung der zu erwartenden Auswirkungen auf die Schutzgüter in den Kategorien wesentlich und untergeordnet.
- Nach Abschluss der Wirkungsanalyse wird der Ausgleichsbedarf ermittelt. Hierzu wird die Erheblichkeit der in der Wirkungsprognose beschriebenen Beeinträchtigungen durch das Vorhaben festgestellt.
- Es werden mögliche Maßnahmen genannt, mit deren Hilfe die ermittelten Beeinträchtigungen so weit wie möglich vermieden oder vermindert werden können. Sind auch nach Ausführung dieser Maßnahmen noch erhebliche Beeinträchtigungen zu erwarten, so werden mögliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen benannt.
- Die Ausgleichsbilanz vergleicht die durch das Vorhaben entstehenden unvermeidbaren Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes mit den zu deren Ausgleich geplanten Maßnahmen.
- Zur abschließenden Beurteilung der Wirkungen auf die Umwelt werden auch die Vermeidungs-, Verminderungs- und Ausgleichsmaßnahmen berücksichtigt. Die Zusammenstellung der verbleibenden Beeinträchtigungen für die einzelnen Schutzgüter wird mit dem Prognosezustand der Nullvariante (kein Abbau) verglichen.
- Schließlich folgt die Zusammenfassung von UVS und LBP.

Um alle Bewertungs- und Aggregationsschritte nachvollziehbar zu gestalten, erfolgen die Bewertungen verbalargumentativ. Auf abstrakte Bewertungsskalen (z.B.: gering, mittel, hoch) wird möglichst zugunsten einer inhaltlichen Beschreibung der wertgebenden Faktoren verzichtet. Sie wird auch einer rein rechnerischen Aggregation von Einzelbewertungen vorgezogen.

Zwischen den Schutzgütern gibt es intensive Wechselbeziehungen. Die für das vorliegende Vorhaben zu prüfenden potenziellen Wirkungen werden in der Wirkungsmatrix dargestellt (Abb. 2-2). Die voraussichtlich wesentlichen, d.h. die den Naturhaushalt deutlich beeinflussenden Auswirkungen auf die Schutzgüter, sind grau hinterlegt. Die im Scopingtermin erarbeiteten hauptsächlich erwarteten Wirkungszusammenhänge sollen im Folgenden kurz dargelegt werden.

Maßnahmen	Entnahme von Bodensubstrat und Organismen	>>	x	x	x	x	x					x
	Abbautätigkeit (Arbeitsvorgang)	>>							x	x	x	
	Rückgabe von Feinmaterial durch die Überlaufbaggerung	>>	x		x							x
	Revierfahrt mit dem Laderaumsaugbagger	>>							x	x	x	
potenzielle Wirkungsarten			längerfristig						kurzzeitig			
			<<	<<	<<			<<	<<	<<	<<	<<
			Abbau bzw. Veränderung von Biotopten	Tieferlegung des Meeresbodens	Änderung der Bodenstruktur	Chemische Veränderungen durch Freilegung sauerstoffärmerer Bodenschichten	Sedimentumlagerung	Lärm	Abgasemissionen	Bewegungen, Licht	Erhöhung der Schwebstoffkonzentration und der Trübung	
Schutzgüter	Mensch:											
	- Leben und Gesundheit	<<							x			
	- Wohlbefinden (einschl. Erholung)	<<							x			
	- Fischerei	<<	x	x								
	Tiere	<<	x	x	x	x	x	x		x	x	
	Pflanzen	<<	x				x		x			x
	Boden:											
	- Lebensraum für Bodenorganismen	<<	x	x	x	x	x					
	- Standort für die Vegetation	<<	x				x					
	- Filter und Puffer für Schadstoffe	<<	x			x						
	- landschaftsgeschichtliche Urkunde	<<	x	x	x		x					
	Wasser *	<<				x			x			x
	Luft	<<							x			
	Klima	<<										
	Landschaftsbild	<<										
	Kultur- und sonstige Sachgüter (Fischerei)	<<										

* Das Wasser als Lebensraum wird bei den Schutzgütern "Tiere" und "Pflanzen" betrachtet.

<< Wirkungsrichtung

Auswirkungen, die voraussichtlich erheblich sind.

Abb. 2-2 Wirkungsmatrix: Potenzielle Wirkungen des Vorhabens auf die Schutzgüter

Während der Betriebszeiten entstehen Lärm-, Licht- und Schadstoffemissionen. Sie können sich auf Tiere (insbesondere Licht und Lärm sowie Bewegungsunruhe) auswirken.

Während des Gewinnungsprozesses (Abb. 2-3) entstehen Trübungsfahnen durch Schluff- und Sandpartikel. Von der Wassertrübung und der Sedimentation der Partikel werden Wirkungen auf Boden, Tiere, Pflanzen und Sachgüter (Fischerei) erwartet.

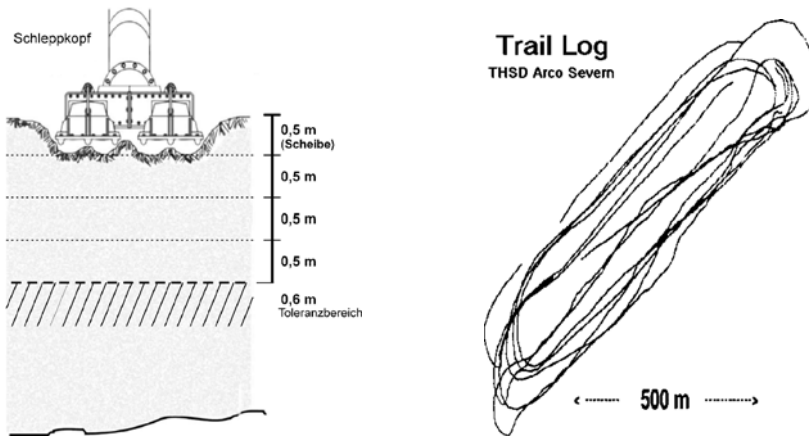


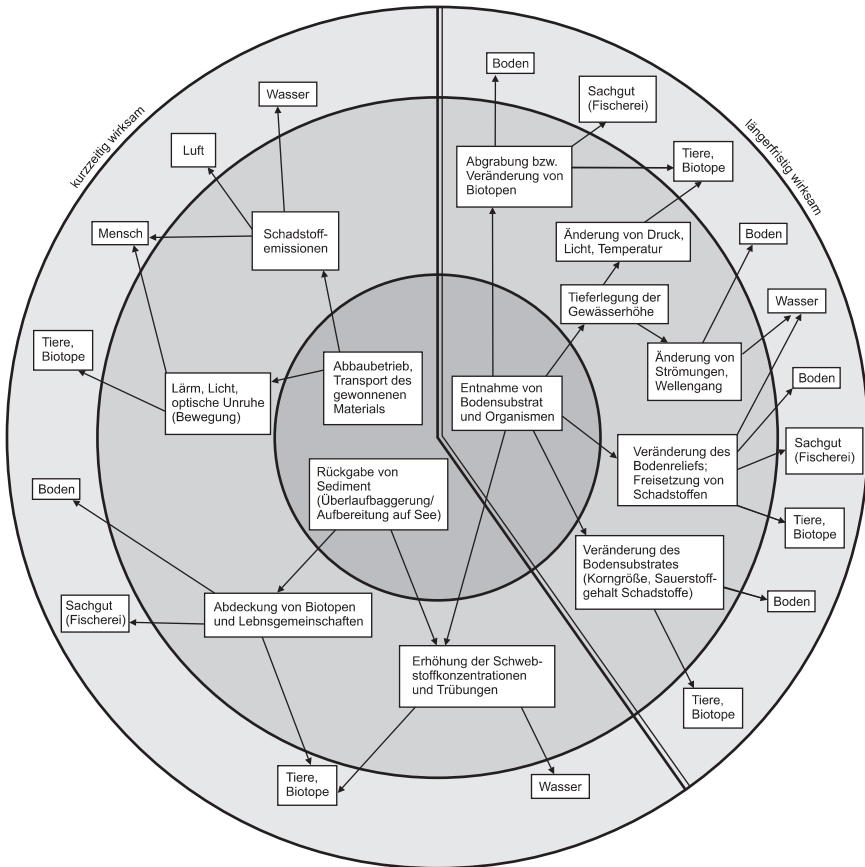
Abb. 2-3 Eingriff des Schleppkopfes sowie Mitschrieb einer Trailspur⁴⁷

Aus diesen Projektbestandteilen (innerer Kreis Abb. 2-4) ergeben sich die im mittleren Kreis aufgeführten Wirkungen auf die Schutzgüter:

- Entfernung von Boden, Besiedlungssubstrat und Organismen,
- Absenkung der Gewässersohle,
- Veränderung von Eigenschaften des Bodensubstrates, Strömungen,
- Abdeckung von Boden, Lebensräumen und Organismen,
- temporäre Erhöhung des Schwebstoffgehaltes, Wassertrübung,
- Schadstoffkonzentrationen in Luft und Wasser,
- Lärm, Licht und Unruhe.

Die zu erwartende Wirkung durch die Abdeckung von Boden und Habitaten ist bei Aufbereitung des geförderten Materials auf See (Rückgabe von bis zu 65 % des Förderstroms) größer als beim Abbau ohne Aufbereitung, bei dem lediglich bei der Befüllung des Laderaums (Überlaufbaggerrung) Sedimentationen in kleinem Umfang (ca. 2 % des Förderstroms) stattfinden. Darauf wird bei den betroffenen Schutzgütern (Boden, Wasser, Tiere/Biotope und Fischerei) näher eingegangen. In der UVS wird nach

der Dauer der zu erwartenden Wirkungen (kurzzeitig oder längerfristig) unterschieden.



Innerer Kreis = Projektbestandteile, Mittlerer Kreis = untersuchungsrelevante Wirkungen; Äußerer Kreis = beeinflusste Schutzgüter.

Abb. 2-4 Wesentliche Wirkungsketten eines marinen Abbauvorhabens ⁴⁶

Abb. 2-5 zeigt beispielsweise die Auswirkungen des Eingriffs auf das Schutzgut Boden.

Dabei wird in wesentliche und untergeordnete Wirkungen unterschieden. Zu den ersteren gehört die Sedimententnahme infolge der Substratentfernung, sowie die Rückgabe von feinerem Korn (Sand), u.U. verbunden mit einer teilweisen Überdeckung auch unverritzter Flächen.

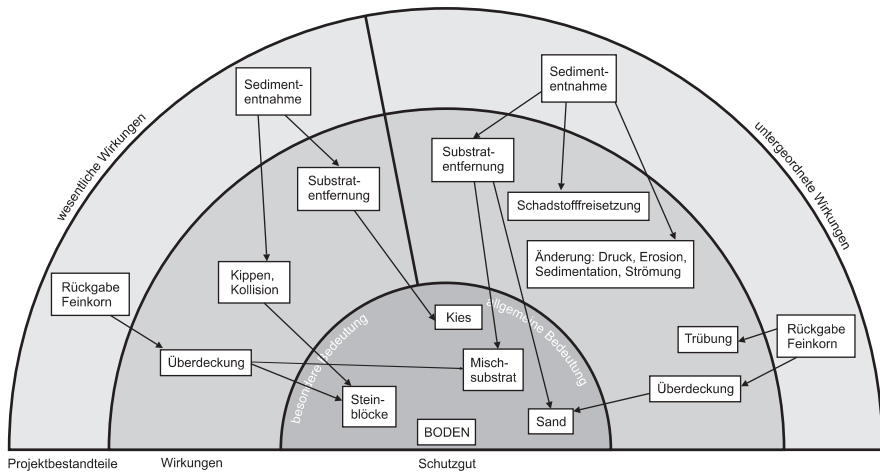


Abb. 2-5 Projektwirkungen auf das Schutzgut Boden ⁴⁶

2.6 Planungssystem für die ökologische Bewertung eines Abbaufahrens

2.6.1 Methodik

In Abb. 2-6 ist das Ablaufschema für die Auswahl eines umweltfreundlichen Abbaufahrens dargestellt.

Für den zu untersuchenden Tagebau ist eine aufs Jahr bezogene Förderleistung vorgegeben, die die Größe des Gerätes bestimmt. Weitere Vorgaben, wie die Verwendung des Rohstoffs und daraus resultierende Qualitätsanforderungen sowie zusätzliche Auflagen bezüglich der Umweltbeeinflussung, wie z.B. Einhaltung von Grenzwerten, sind für die Auswahl von geeigneten Abbaufahren zu beachten.

Die technologischen Untersuchungen umfassen im Wesentlichen das Abbaufahren, bestehend aus den Komponenten Abbausystem und Abbauführung.

Technisch nicht realisierbare Abbaufahren werden aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Die technisch sinnvollen Varianten werden gemäß der Methodik wirtschaftlich untersucht. Hierbei werden zum einen eine statische und zum anderen eine dynamische Kostenbetrachtung durchgeführt. Wirtschaftlich nicht sinnvolle Verfahren werden nicht weiter berücksichtigt.

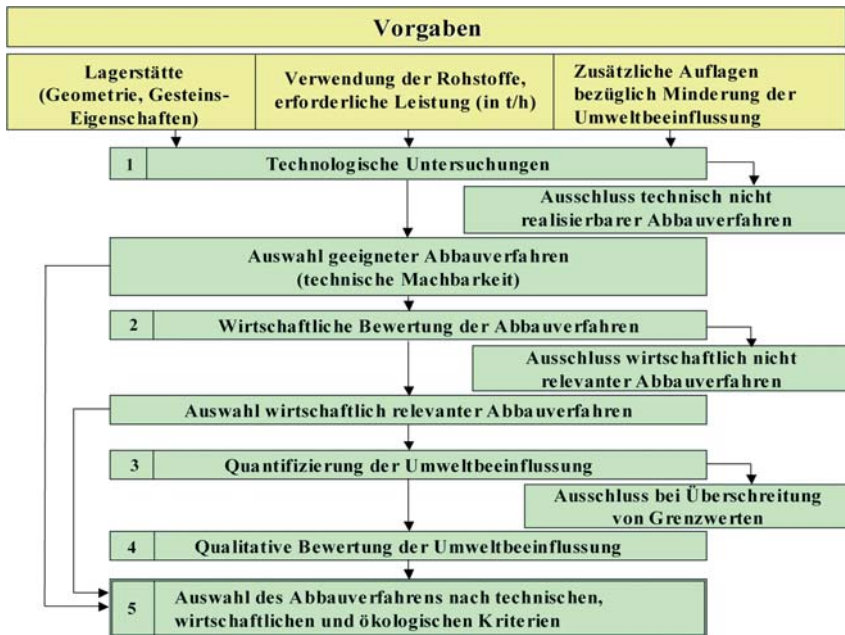


Abb. 2-6 Ablaufschema zur Auswahl umweltfreundlicher Abbauverfahren

Nach der wirtschaftlichen Bewertung erfolgt eine Quantifizierung der Umweltbeeinflussung mittels einer Input-Output-Analyse (Abb. 2-7).

Hierbei werden hinsichtlich des output insbesondere untersucht:

- Lärm,
- Staub (bedingt),
- Trübung,
- CO₂-Äquivalent,
- SO₂-Äquivalent,
- Kumulierter Energieaufwand (KEA),
- Temporäre Flächeninanspruchnahme.

Einen Hinweis zur Beurteilung des Lärms stellt der mittlere Schallleistungspegel dar. Dieser wird unter Berücksichtigung des geometrischen Modells auf Grundlage der VDI Normen 2720 und 2714 zur Berechnung von Schallimmissionen verwendet.

Eine Berechnung des Staubanfalls ist mit Hilfe der Methodik aus der VDI-Norm 3790 Blatt 3 möglich. Dazu werden Emissionsfaktoren für die Prozesse im Abbausystem ermittelt.

Bezüglich des Input kann die Datenbank GEMIS ⁴⁸ (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme) genutzt werden. Dort wird der gesamte

Lebensweg eines Produktes (z.B. Schwimmbaggers) von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung seiner Bauteile bis zur deren Nutzung dargestellt und bezieht die Hilfsenergien sowie den Materialaufwand zur Herstellung von Anlagen mit ein. Die Entsorgung wird ebenfalls mit berücksichtigt.

Aus dieser Datenbank stehen Daten für die Diesel- und Strombereitstellung sowie die Metall- und Kunststoffherstellung zur Verfügung, welche bei jedem Abbausystem berücksichtigt werden.

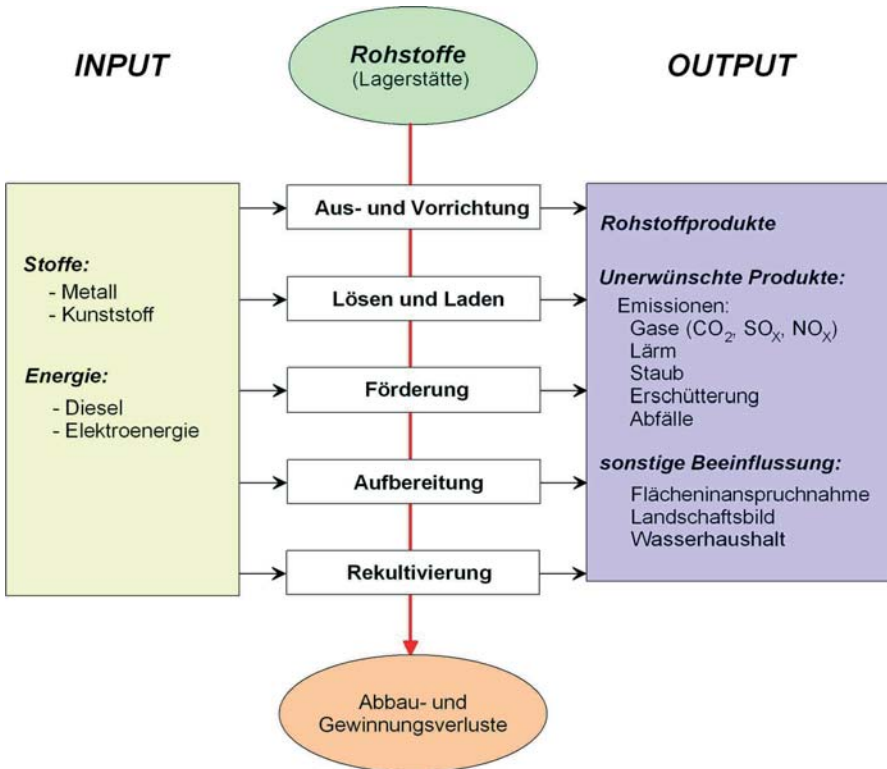


Abb. 2-7 Schema einer Input – Output - Analyse

2.6.2 Bewertung

Für die Bewertung sollen die Kriterien Gewinnungskosten und Umwelteinflüsse direkt Berücksichtigung finden. Hierbei handelt es sich um ein mehrkriterielles Bewertungsproblem, das gemäß der in Kapitel 7.3 ausführlicher dargestellten Nutzwertanalyse behandelt werden kann.

Die technologischen Alternativen und die Bewertungskriterien werden als Spalten und Zeilen einer Matrix verwendet, in deren Elementen die Güte der jeweiligen Kriterienerfüllung vermerkt wird. Für eine Quantifizierung der Angaben sind Skalierungen notwendig. Mit Wichtungskoeffizienten wird die unterschiedliche Bedeutung der einzelnen Kriterien berücksichtigt.

Nachfolgend wird das Vorgehen zunächst am Beispiel der Umwelteinflüsse, die ihrerseits bereits zu einem mehrkriteriellen Problem führen, dargestellt. Anschließend wird angegeben, wie die Erweiterung in Bezug auf wirtschaftliche und soziale Kriterien erfolgen kann.

In Tabelle 2-3 ist eine Bewertungsmatrix dargestellt. Die technische Alternative A_i , welche den geringsten Umwelteinfluss U_j hat, erhält die höchste Punktzahl p_{ij} . Dies sind z.B. 100 Punkte. Für die anderen Alternativen werden entsprechend des Abstandes im Kriterium weniger Punkte errechnet. Am Ende der Tabelle können die Punkte p_{ij} der Umwelteinflüsse für jedes Abbaufahren summiert werden, sofern noch keine Wichtungen vorgenommen werden. Die Summe ergibt dann die Punktsumme des gesamten Umwelteinflusses des jeweiligen Abbaufahrens. Die höchste Summe deutet auf den geringsten Umwelteinfluss hin und ist demzufolge als positiv bezüglich der Umweltfreundlichkeit zu bewerten.

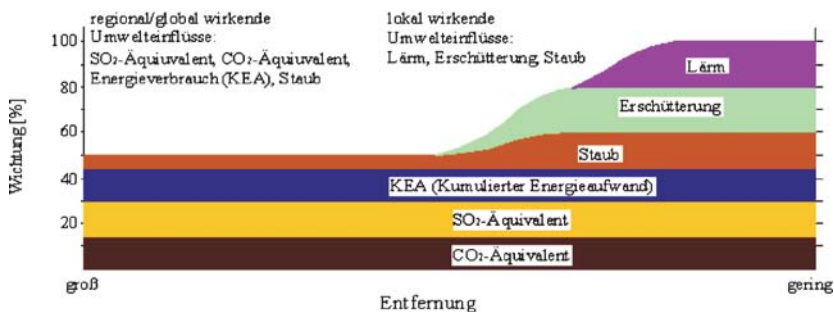


Abb. 2-8 Wichtung von Umwelteinflüssen (Schema) am Beispiel eines Festgesteintagebaus

Um weitere Differenzierungen zu erhalten, sind zusätzliche Korrektur- und Wichtungsfaktoren einzuführen. In Abb. 2-8 sind diese Faktoren bezogen auf einen Festgesteintagebau dargestellt. Der Korrekturfaktor k_{ij} berücksichtigt die Umweltauswirkung einer Umwelteinflussgröße U_j zwischen den Alternativen. So sollen Fragestellungen nach dem Unterschied der Art und Weise einer Lärmemission oder auch Erschütterung Berücksichtigung finden, z.B. sind kurzfristige hohe Schallpegel anders zu bewerten als lang andauernde geringe Lärmpegel. Der Faktor k_{ij} soll auf solche

Unterschiede hinweisen und ist gegebenenfalls durch verbale Argumentation zu unterlegen.

Tabelle 2-3 Bewertungsmatrix

	Alternative A _i		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Kriterienbereich	Kriterium j	Wichtung	k _{1j}	k _{2j}	k _{3j}	k _{4j}	k _{5j}
UE	U ₁	g ₁	p ₁₁	p ₂₁	p ₃₁	p ₄₁	p ₅₁
	U ₂	g ₂	p ₁₂	p ₂₂	p ₃₂	p ₄₂	p ₅₂
	U ₃	g ₃	p ₁₃	p ₂₃	p ₃₃	p ₄₃	p ₅₃
UE _{ges i} = Σ			Σp _{1j} g _j k _{1j}	Σp _{2j} g _j k _{2j}	Σp _{3j} g _j k _{3j}	Σp _{4j} g _j k _{4j}	Σp _{5j} g _j k _{5j}

mit

- UE Umwelteinfluss
- A technologische Alternative (Abbauverfahren)
- i Variante des Abbauverfahrens (z.B.: 1=mit Druckwasseraktivierung, 2=Traktorkette, ...)
- U Umwelteinflusskriterien
- j Art des Umwelteinflusses (z.B.: 1=Lärm, 2=SO₂-Äquivalent,...)
- p_{ij} Punktwert für das Abbauverfahren A_i und den Umwelteinfluss U_j (berücksichtigt die Differenzen von U bezüglich A_i)
- k_{ij} Korrekturfaktor für Art und Intensität des Umwelteinflusses, von A_i abhängig
- g_j Gewichtungsfaktor zwischen den Kriterien U_j ; nicht von A_i abhängig

Mit dem Gewichtungsfaktor g_j werden die Kriterien U_j untereinander gewichtet. Hierbei ist zu bedenken, welchen Einfluss lokale bzw. globale Umwelteinwirkungen auf ein zu schützendes Objekt ausüben. Die Festlegung ist an die Präferenzen des Entscheiders geknüpft und/oder kann durch eine Befragung von betroffenen Personen ermittelt werden. Dies erfordert umfangreiche Befragungsmethoden, auf welche hier nicht weiter eingegangen werden soll. Stattdessen werden zwei grundsätzliche Fälle betrachtet. Der erste Fall beinhaltet einen Abbaubetrieb, welcher sich in großer Entfernung zu Siedlungsgebieten bzw. einem zu schützendem Objekt befindet. Hierbei verlieren lokale Umwelteinflüsse, wie Lärm, Staub und Erschütterung an Bedeutung. Im zweiten Fall befindet sich der Tagebau in der Nähe eines Siedlungsgebietes. Hierbei sind lokal wirkende Umwelteinflüsse neben den regional/global wirkenden von Bedeutung. Diese Unterschiede werden durch den Gewichtungsfaktor g_j berücksichtigt (Abb. 2-8).

Aus Tabelle 2-3 und den oben gemachten Ausführungen kann die folgende allgemeine Gleichung für den gesamten Umwelteinfluss eines Abbauprozesses definiert werden:

$$UE_{ges i} = \sum_{j=1}^n p_{ij} g_j k_{ij} \quad (2-1)$$

Als Ergebnis dieser Analyse entsteht eine Matrix, in der die Umwelteinflüsse eines jeden ausgewählten Abbausystems durch eine dimensionslose Zahl quantifiziert sind. Somit ist es möglich, durch die Auswertung der Matrix festzustellen, welches Verfahren die geringsten Umwelteinflüsse in Summe aber auch bezüglich eines Kriteriums besitzt.

Die wirtschaftlichen Kriterien können zusätzlich durch den Summanden $W_{ges i}$ in der Gl.2-2 berücksichtigt werden. Dieser Summand ist nach dem Schema, wie in Tabelle 2-3 dargestellt, zu ermitteln.

Eine Beachtung der sozialen Vorteilhaftigkeit $S_{ges i}$ ist weiterhin denkbar und würde zu dem weiteren Summanden $S_{ges i}$ in Gl. 2-2 führen.

$$UEWS_{ges i} = UE_{ges i} + W_{ges i} + S_{ges i} \quad (2-2)$$

Mit der dargestellten Vorgehensweise ist es möglich, das umweltfreundlichste, wirtschaftlichste und/oder das sozialverträglichste Verfahren zu ermitteln ^{46, 49, 50}.

3 Erkundung

Die geologische Untersuchung einer Lagerstätte liefert Daten über den inneren Aufbau, also deren Geometrie, deren Genese und Ausbildung⁵¹. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse lassen sich die notwendigen technischen und wirtschaftlichen Kennwerte ableiten⁵². Erstere sind die Grundlage für

- die Abbauplanung,
- die Auswahl des Gewinnungsverfahrens und
- des Abbausystems sowie
- die Konfiguration der Aufbereitungsanlage

und letztere sind bedeutend für

- den Grenzgehalt (cut off grade),
- das Abraum-/Rohstoff-Verhältnis (strip ratio),
- die Kosten-/Nutzenanalyse.

Bei entsprechenden Analysen und Labortests an entnommenen Bodenproben werden zudem die geotechnischen, mineralogischen, physikalischen und petrochemischen Parameter des Vorkommens bestimmt. Daraus kann u.a. beurteilt werden:

- der gewinn- und nutzbare Vorrat unter Berücksichtigung der Standsicherheit der Böschungen und damit die wirtschaftliche Lebensdauer des Tagebaus,
- die aus dem Bodenschatz herstellbaren Produkte.

Die sorgfältige Analyse der Kiessand-Lagerstätte wird insbesondere dann bedeutsam, wenn Vorräte mit überproportionalem Anteil der Sandfraktion (0 mm – 2 mm) anstehen, die für das primäre Abbauziel nicht nutzbar sind, da nicht vermarktbar. Bevor die Überschussmengen der nicht vermarktbar Fraktion verkippt werden, sollten jedoch immer Verwendungsalternativen untersucht und nach Möglichkeit durchgesetzt werden, um die geforderte Ausbeutemaximierung zu erreichen.

Folgende Begriffe sind zu definieren^{53, 54}:

- Lagerstätte

Lagerstätten sind natürliche Ablagerungen oder Anreicherungen von allen mineralischen Rohstoffen in festem, flüssigen oder gasförmigem Zustand, die in oder auf der Erde, auf dem Meeresgrund oder im Meerwasser vorkommen“. Sie bilden Teile eines Vorkommens mit mineralischen Rohstoffen.

- Lockergestein

Als Lockergestein versteht man im Gegensatz zu Festgestein eine Ansammlung von nicht natürlich verfestigten Sedimenten aus Gesteinen oder deren bildenden Minerale wie z.B. Kiessande oder Seifen. Das sind alle Sedimente, die aus lose gepackten oder durch Kohäsion verbundene Gesteinspartikel zusammengesetzt sind und noch nicht durch ein Bindemittel, wie z.B. Kalk, zementiert, bzw. durch diagenetische oder metamorphe Vorgänge verfestigt wurden. Festgestein wird anhand der Druckfestigkeit unterteilt in Hart- und Weichgestein. Hartgesteine besitzen eine Druckfestigkeit von $> 18 \text{ MPa}$ ⁵⁵. In der ingenieurgeologischen Terminologie werden alle lockeren, unverfestigten Massen, die sich durch kneten oder aufschütteln trennen lassen, als Lockergesteine bezeichnet.

- Boden

Boden umfasst Bildungen aus Fest- und Lockergestein. Er wird im Zusammenhang mit Nassabbau aus Lockersedimenten, im Zusammenhang mit Nassbaggerei in zunehmendem Maße auch aus Festgestein gebildet. Der Boden wird nach seiner Körnigkeit unterschieden. Ein weiteres Kriterium für die Einteilung der Bodenarten sind manchmal enthaltene organische Beimengungen wie Torffasern oder amorphe Huminsäuren oder Reste von Kalkalgen⁵⁶ oder Fremdstoffe im Falle von Auffüllungen. Die Einteilung der Bodenarten erfolgt nach DIN 18196. Boden ist ein Gemisch aus einer

- festen Komponente, den Lockergesteinteilchen,
- flüssigen Komponente, dem sog. Porenwasser, das als diffuse Hülle und als freies Porenwasser auftritt sowie einer
- gasförmigen Komponente, der sog. Porenluft.

Es werden rollige und bindige Böden unterschieden. In der Nassgewinnung spricht man von Bodengewinnung, wozu auch der Abbau von Weichgestein, d.h. durch Einträge mit dem Grundwasser erfolgte Verfestigungen des Bodens, zählt. In der Nassbaggerei erfolgt in wenigen Ausnahmen auch Hartgesteinbaggerung.

3.1 Lagerstättenarten

Der größte Teil der Erdoberfläche, sowohl im terrestrischen als auch im marinen Bereich, ist von einer unterschiedlich mächtigen Schicht aus Lockergestein bedeckt^{57, 58}. Nassgewinnung findet in Lockergesteinen terrestrischer oder mariner Umgebung statt, wie z.B. auf

- Quarzsand: terrestrisch,
- Kiessand: terrestrisch und marin,
- Braunkohle: terrestrisch,
- Seifen: (Au; Pt; Sn, Ta, Nb, Ti, Zr, Fe, ReO) terrestrisch und marin,
- Edelsteine: terrestrisch und marin.

Lockergesteine entstehen durch natürliche Zerkleinerung von Festgestein. Die Zerkleinerung erfolgt dabei durch Beanspruchung infolge von Frost-Tau-Wechseln, Wärme-Kälte-Wechseln, Wind- und Wasserbeanspruchung.

Durch biogene oder chemische Beanspruchung können die Lockergesteine lagenweise wieder verfestigt werden. Sollten die runden Kies- und Sandkörner nach Ablagerung des Lockergesteins wieder verfestigt sein, spricht man von Konglomeraten, sollten die Körnungsanteile eckig sein, von Breccien. Ist der Sand verfestigt wie z.B. in den Halterner Quarzsanden häufig vorkommend, spricht man von Sandstein.

Kiessandlagerstätten mit mehr als 50 Ma.-% Anteilen der Kies-Fraktion 2/63 mm werden im geologischen Sinne als Kieslagerstätten bezeichnet, ist der Anteil der Kiesfraktion geringer als Sandlagerstätten.

Kieslagerstätten im vorgenannten geologischen Sinne kommen in Deutschland (Abb. 3-1) i.d.R. nur am Oberlauf fluviatiler Bildungen vor, z.B. an der Oberelbe im Dresdener Raum, am Oberrhein oder an den Zuflüssen der Donau, in der norddeutschen Tiefebene im Bereich glazial geprägter Gebiete wie z.B. Gletschertoren. Auch die marinen Lagerstätten von Nord- und Ostsee haben kaum höheren Anteil an Kies als 30-40 Ma.-%. Nach Vorklassieren der Sande wird die Ladung des Laderaumsaugbaggers auf ca. 60-90 Ma.-% angereichert, wodurch die seewärtige Gewinnung erst wirtschaftlich wird.

In den Geestrückenlagerstätten Norddeutschlands oder den Sandlagerstätten Brandenburgs dagegen gilt eine Lagerstätte mit 10 Ma.-% der Fraktion 2/63 als „Kiesgrube“. Eine Lagerstätte mit 35–40 Ma.-% Kies der Fraktion 2/63 mm kann demnach schon als ein gutes Vorkommen bezeichnet werden. Lagerstätten mit geringerem Anteil an Mittel- bis Grobkies gewinnen jedoch zunehmend an Bedeutung, da die heutige Entwick-

lung in die Herstellung von leichter verarbeitbaren Betonen mit einem Größtkorn von < 16 mm geht.

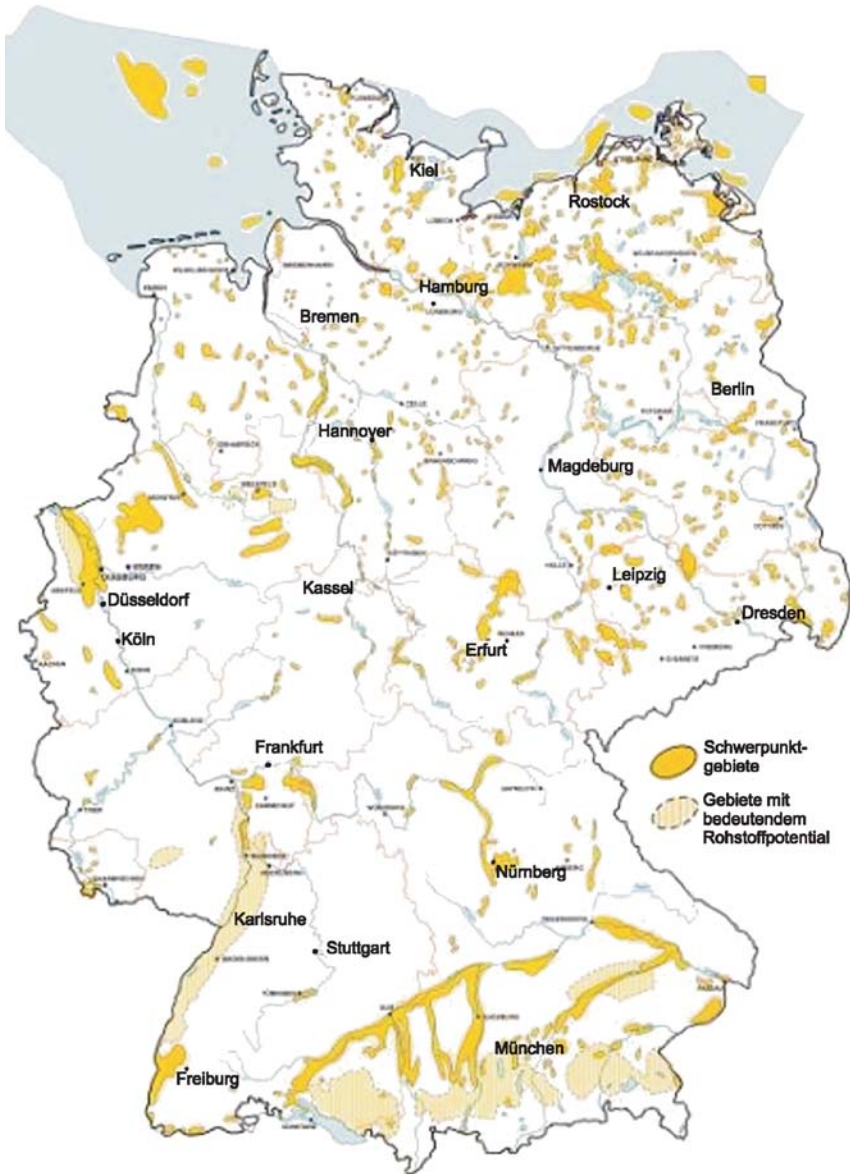


Abb. 3-1 Verbreitung von terrestrischen und marinen Kiessandlagerstätten in Deutschland nach BGR

3.2 Lagerstättengenese

Lockergestein entsteht durch Verwitterung von Festgestein unter Bildung unterschiedlich großer Gesteinspartikel. I.d.R. werden diese Gesteinspartikel bzw. Komponenten durch Wasser, Wind oder Gletschereis abgetragen und als Sedimentfracht der Flüsse abtransportiert ⁵⁹.

Tabelle 3-1 Bildungsebene, Entstehung und hauptsächliche Abbaumethode verschiedener Schwerminerale

Bildungsumgebung		Minerale	Entstehung	Haupt- Abbaumethode im Tage- und Tiefbau
Transitional	Eluvial	Au, Pt, Sn, WO ₃ , Ta, Nb, Edelsteine	chemische und biologische Reaktion, Hitze, Wind, Regen	Handbetrieb, Waschrinne
	koluvial	Au, Pt, Sn, WO ₃ , Ta, Nb, Edelsteine	Kriechen, Wind, Regen, Auswaschung, Frost	Handbetrieb, Waschrinne, Raupe
	Fluvial	Au, Pt, Sn, selten Ta, Nb, Diamanten, Korund	fließendes Wasser	Handbetrieb, Waschrinne, SD
	Wüste	Au, Pt, Sn, WO ₃ , Ta, Nb, Edelsteine	Wind, Hitze, Frost	Raupe, BH, Schleppschaufelbagger buried loader system
	Glazial	Au	Eis, Schmelzwasser	Waschrinne
	Strandlinie	Ti, Zr, Fe, ReO, Au, Pt, Sn	Wellen, Strömung, Wind, Tide	SD, CSD, UCW
Marin	Stranddüne	Ti, Zr, Fe, ReO	Wind, Regenauswaschung	
	Delta	Ti, Zr, Fe, ReO	Wellen, Strömung, Wind, Tide,	
	Unterwasserseifen	Au, Pt, Sn, Diamanten, Ti, Zr, Fe, ReO,		BL, GD, SD, CSD, UCW, THSD

Die Bildungsumgebung, Entstehung der Minerale und deren hauptsächliche Abbaumethoden sind in Tabelle 3-1 aufgelistet ⁶⁰.

Dabei unterliegen die Partikel verschiedenen Sortierungsvorgängen und Verwitterungsprozessen. Zur Ablagerung kommt es immer dann, wenn das jeweilige Transportmedium die Komponenten aufgrund nicht ausreichenden

der Strömungsgeschwindigkeiten nicht mehr in Schwebel oder Bewegung halten kann.

Für das in Mitteleuropa vorherrschende humide Klima kann folgendes vereinfachte Abtragungs- und Ablagerungsmodell skizziert werden^{61, 62}

- Gebirge
 - Erosion von Festgestein,
 - Abtragung durch Gletscher, Wasser, Wind, Gravitation.
- Gebirgstäler
 - Transport durch schnellfließende Gewässer,
 - Ablagerung von Blockschutt und Schotter,
 - Zurundung der Komponenten.
- Flüsse
 - Transport mit abnehmender Fließgeschwindigkeit,
 - Ablagerung zunehmend feinkörniger Komponenten (Kies und Sand),
 - Verwitterung instabiler Minerale, Zurundung.
- Seen
 - Ablagerung feinkörniger Sedimente (Sand, Schluff) durch schlagartige Abnahme der Fließgeschwindigkeit.
- Meer
 - Ablagerung der restlichen, meist feinkörnigen Sedimente (ähnlich wie bei Seen),
 - weitere Sortierung und Zurundung durch Wellentätigkeit.

Dabei werden drei Gewinnungszonen unterschieden:

- die kontinentale Zone mit folgenden Bildungen
 - eluvial, z.B. Tonerden in Venezuela,
 - koluvial, z.B. Gold in Kalifornien,
 - fluvial, z.B. Kiessande in den Flussläufen von Elbe, Weser oder Rhein,
 - arid, z.B. Erze in Marokko,
 - glazial, z.B. Kiessande in Norddeutschland,
- die küstennahe Zone mit Seifenbildungen im

- Strandbereich, z.B. Diamanten im sog. Sperrgebiet südlich Lüderitz in Namibia,
 - Dünenbereich, z.B. Ilmenit in Richardsbay, Südafrika,
 - Deltabereich, z.B. Ilmenit im Zambesidelta, Mozambique sowie
- die marine Zone, z.B. Kiessand in der Nordsee.

Für die Ausprägung eines Lockergesteins und dessen Gewinnbarkeit sind zusammengefasst drei Kriterien von Bedeutung,

- das Liefergebiet,
- der Transport,
- die Sedimentation.

3.2.1 Liefergebiet

Das Liefergebiet, d.h. das Abtragungsgebiet des verwitternden Gesteins, entscheidet über die potentielle petrographische Zusammensetzung des Lockergesteins. Naturgemäß ist dies jede exponierte Stelle der Erdoberfläche, die der Verwitterung unterliegt. Zu einer Lagerstätte gehört größtenteils nicht nur ein einziges, sondern eine Vielzahl abweichender Liefergebiete, die aus ganz unterschiedlichen Gesteinen aufgebaut sein können.

3.2.2 Transport

Das Transportmedium, die Art des Transports sowie zeitliche und räumliche Komponenten sind verantwortlich für Kornform, Korngröße und Kornverteilung der Sedimentkomponenten einer Lagerstätte. Die wichtigsten Transportmedien im humiden Klima sind Wasser und Gletschereis sowie Wasser in Systemen, die aus dem eigentlichen Flusslauf sowie einem oftmals weit verzweigten Zuliefersystem bestehen. Ein typisches Flusssystem kann in drei Teile gegliedert werden:

- Das sammelnde System der Gerinne, Bäche sowie sonstigen kleineren und größeren Zuflüsse. Der größte Teil der Erdoberfläche ist Teil des sammelnden Systems. In der Auswertung von Luftaufnahmen ergibt sich ein fein verästeltetes Netzwerk von wasserführenden Bereichen.
- Das transportierende System des Hauptflusses (Strom) vom Liefergebiet zur schließlichen Ablagerungsstelle, dem Meer. In Regionen wie den Anden oder dem Himalaja kann der Fluss auch schon vor Erreichen eines größeren Stromes oder gar des Meeres seine Schuttmassen

ablageren, wenn nur die Strömungsgeschwindigkeit gering genug ist. Z.B. mündet der Rio Pirai in der Nähe von Santa Cruz de la Sierra / Bolivien aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit in dem von ihm durchflossenen Flachland (Llanos) bereits in einem terrestrischen Delta, ohne Anschluss an einen anderen Fluss zu haben. Durch die Mäanderbildung des Flusslaufes kommt es zu Sortierungen von sich ablagernden Suspensionsfrachten zur weiteren Aufarbeitung des antransportierten Materials und dessen selektiver Ablagerung im Bereich von Prall- und Gleithang.

- Das ablagernde System an der Mündung des Flusses mit entsprechender Deltabildung. Dabei wird die Suspensionsfracht durch ein System von Teilarmen in das Meer, Seen oder trockene Becken abgelagert. Die Gesteinskomponenten werden im Wasser entweder durch rollende, schiebende oder springende Bewegung am Gewässergrund oder in Suspension in turbulenter Strömung transportiert. Laminare Strömungsverhältnisse sind auf eine dünne Wasserschicht an Sohle und Böschung des Flussbettes beschränkt (Abb. 3-2).

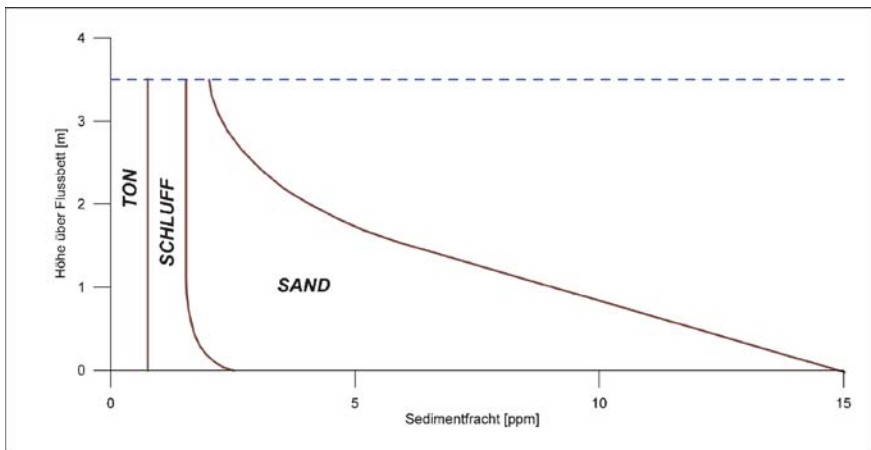


Abb. 3-2 Verteilung der Sedimentfracht in einem Flusslauf ⁶³

Die Strömung eines Flusses hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie:

- Wassermenge,
- Strömungsgeschwindigkeit,
- Form und Größe des Flussbettes,
- Gefälle des Flussbettes,
- Mächtigkeit der erosionsgefährdeten Schicht des Flussbettes,
- Suspensionsfracht.

Durch Abrieb des transportierten Materials kommt es zur Zurundung der Komponenten, aber auch zu deren physikalischer Zerkleinerung.

Ein wichtiger Transporteffekt ist die Sortierung der Komponenten nach ihrer Größe. Sie wird hervorgerufen durch die Tatsache, dass strömende Medien eine für sie spezifische Transportfähigkeit aufweisen. Diese Transportfähigkeit ist weitestgehend abhängig von der Korngröße der zu transportierenden Komponenten und der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums. Sie regelt, wann eine Gesteinskomponente aufgenommen, wann sie transportiert und wann sie abgelagert wird.

Bei freier Entwicklung des Flusssystems auf homogener Oberfläche bestehen mathematische Zusammenhänge zwischen Zuflüssen sowie Abmessungen und Gefälle des Stromes, z.B.:

- die Zahl der Zuflüsse zu einem Strom nimmt flussabwärts zunehmend ab,
- die Länge der Zuflüsse nimmt flussabwärts zunehmend zu,
- das Gefälle des Stromes nimmt flussabwärts ab,
- das Flussbett wird flussabwärts zunehmend tiefer und breiter,
- das Flusstal ist proportional der Größe des Flussbettes und nimmt flussabwärts zu.

In einem Fließgewässer findet der Transport von Lockergestein auf drei verschiedene Weisen statt:

- als Suspensionsfracht, bestehend aus feinen Kornfraktionen wie Ton, Schluff und Feinsand,
- als Geschiebe längs des Flussbettes, bestehend aus groben Kornfraktionen (Mittel- bis Grobsand, Kies, Steine). Der Anteil des Geschiebes beträgt normalerweise 7 Vol.-% bis 10 Vol.-% der Sedimentfracht eines Flusses. Im Zuge des Geschiebetransports findet die größte Aufarbeitung des transportierten Sedimentes statt,
- als gelöste Fracht chemischer Beimengungen. Am häufigsten treten Kalzium- und Bicarbonationen (HCO_3) auf sowie Soda-, Magnesium-, Chlorid-, Eisen- und Sulfationen. Auch organische Lösungen sind vorhanden und führen zur Farbgebung. Berühmtes Beispiel hierfür ist der ca. 50 km lange Zusammenfluss von Rio Negro und Rio Solimões zum Amazonas bei Manaus/Brasilien. Die Verteilung der Sedimentfracht in einem Flusssystem ist in Abb. 3-2 dargestellt.

Erosion und Transportkapazität eines Flusssystems hängen wesentlich von dessen Strömungsgeschwindigkeit ab. Die transportierte Korngröße nimmt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu. Die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über Lösbarkeit, Transport und Absetzen von

Sedimenten durch ein Flusssystem sind in dem sog. Hjulstrom-Diagramm (Abb. 3-3) dargestellt. Es verdeutlicht die Grenzströmungsgeschwindigkeit, die bei Erosion, Transport und Absetzen in Abhängigkeit von Korndurchmesser und Strömungsgeschwindigkeit eintritt.

Neben der Sortierung der Korngröße ist eine Aussortierung von Komponenten durch Lösung bedeutsam. So werden leicht lösliche bzw. instabile Minerale, wie Salze, Gips, Kalk, Feldspat etc. bevorzugt in der Nähe des Liefergebietes abgelagert, d.h. mit zunehmender Entfernung vom Liefergebiet verarmt das Spektrum.

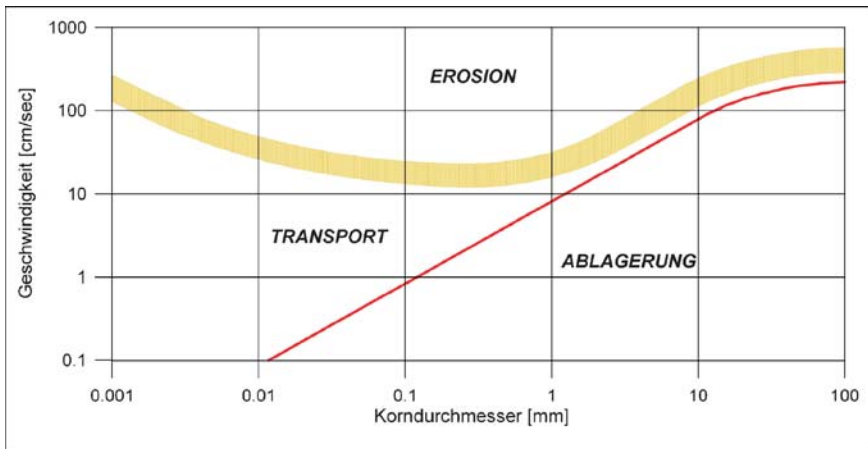


Abb. 3-3 Hjulstrom-Diagramm ⁶⁴

Genauso, wie alle genannten Vorgänge für den Transport in Bächen und Flüssen gelten, sind sie auch im Meer wirksam. Wellenbewegung und Strömung führen zu ähnlichen Sortierungs- und Zurundungseffekten, wie sie in terrestrischen Gewässern beobachtet werden können. Weiterhin besitzt das Meer, besonders im Küstenbereich, eine erhebliche erosive Kraft.

Der Transport durch Gletschereis ist heutzutage im mitteleuropäischen Raum eigentlich nur noch im Hochgebirge von Interesse. Die geologisch jüngste Geschichte Mitteleuropas ist aber von Eiszeiten geprägt und insofern sind die meisten Lagerstätten mit Lockergestein eiszeitlich beeinflusst. Die Transportprozesse im Eis sind grundsätzlich anders, als im Wasser. Das Eis rasiert während des Fließens Gestein vom Untergrund ab oder nimmt lockere Gesteinsbruchstücke auf.

Die Korngrößen des aufgenommenen Materials variieren nahezu im gesamten Korngrößenspektrum bis hin zu großen Blöcken, den sog. Findlingen. Im Gletscher selbst finden kaum Sortierungs- oder Zurundungseffekte

statt. Beim Abtauen des Gletschers kommt es schließlich zur Ablagerung der transportierten Gesteinskomponenten oder zum Weitertransport durch Schmelzwasser.

Eine für den Rhein im Bereich Bruchsal typische vereinfachte Schichtenfolge setzt sich wie in Abb. 3-4 gezeigt zusammen.

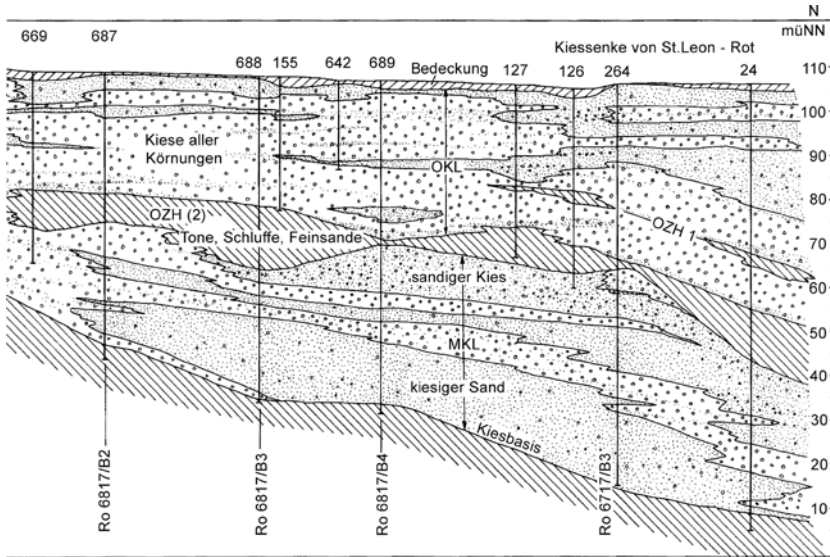


Abb. 3-4 S-N gerichteter lagerstättenkundlicher Schnitt im Bereich Rastatt-Waghäusel⁶⁵

Von lagerstättenkundlicher Bedeutung für die Kiessandgewinnung ist vor allem das Obere Kieslager (OKL). Es ist aufgebaut aus unzementiert lagernden, fluviatilen kiesigen Sanden, sandigen Kiesen und vereinzelt auch engräumig begrenzten Bereichen aus Sand. Überlagert wird das OKL von rezenten und subrezentem Flugsanden sowie Hochflutlehm und fluviatilen Sanden.

Im unteren Bereich des OKL, zwischen 15 m und 40 m unter Geländeoberkante (u.GOK), sind vielerorts Rinnen und Linsen aus warmzeitlichem Schluff und Ton, vereinzelt auch Feinsand, eingeschaltet, die als erster Oberer Zwischenhorizont (OZH 1) bezeichnet werden. Sie besitzen eine maximale Mächtigkeit von 5 m, haben eine Ausdehnung von wenigen Dekametern und keilen lateral rasch aus. Das Liegende des OKL bildet der so genannte zweite Obere Zwischenhorizont (OZH 2), eine mehr oder weniger aushaltende Lage aus feinkörnigem Sediment mit einer ähnlichen Genese und Zusammensetzung wie der OZH 1.

3.3 Prozesse der Bodenbildung

Nach der Ablagerung des Lockergesteins beginnen langwierige physikalische und chemische Prozesse, die zur Verfestigung des Gesteins führen. Neben Entwässerungs- und Verfestigungsvorgängen sind für diese Betrachtung vor allem oberflächennahe Bodenbildungsprozesse interessant. Unter Bodenbildung versteht man die chemische, physikalische und biologische Veränderung der obersten Schichten der Landoberfläche. Bedeutsam für Gewinnung und Aufbereitung sind darunter vor allem Prozesse der Zementation und der Torf- und Braunkohlebildung.

Eine Zementation des Lockergesteins kann dann entstehen, wenn im Grundwasser enthaltene Lösungen, z.B. Eisenoxid- bzw. Eisenhydroxidverbindungen, durch Veränderung des chemischen Milieus ausgefällt werden, sich zwischen die Sedimentkörner setzen und diese miteinander verbinden (Abb. 3-5). Veränderungen des chemischen Milieus werden meistens durch biologische Aktivität, wie z.B. der Entstehung von Humus-säuren, ausgelöst. Solche Zementationshorizonte sind i.d.R. nur wenige Dezimeter mächtig. In seltenen Fällen erreichen sie derartige Ausmaße, dass sie wie in vergangenen Jahrhunderten, als Werkstein oder Eisenrohstoff abgebaut werden können. Andere Zementationsvorgänge, die zu ähnlichen Horizonten führen, sind Nagelfluh-, Caliche und Chertbildungen, bei denen das Sediment durch Kalziumkarbonat oder Siliziumdioxid verfestigt wird.



Abb. 3-5 Eisenausfällung in einer niederrheinischen Lagerstätte

Diese Festgesteinshorizonte innerhalb einer Lockergesteinslagerstätte sind wichtige Auswahlkriterien hinsichtlich des Gewinnungsverfahrens. So ist ein wenige Dezimeter mächtiger Zementationshorizont für alle Gewin-

nungsverfahren, die über keine zusätzliche Lösehilfe verfügen wie Greiferbagger, Grundsaugbagger und Laderaumsaugbagger mit Lösewerkzeug, Schrapper, etc. ein oftmals unüberwindbares Hindernis.

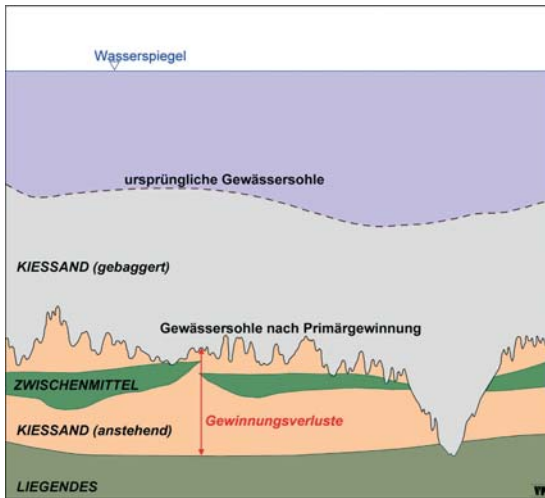


Abb. 3-6 Geologisches Querprofil einer Lockergesteinslagerstätte im Leinetal mit verfestigtem bindigem Zwischenmittel

Abb. 3-6 zeigt eine Lockergesteinslagerstätte mit einem verfestigten Zwischenmittel im Leinetal bei Hannover, das durch Zementationsvorgänge entstanden ist. Für den hier eingesetzten Grundsaugbagger ohne Lösewerkzeug war dieser Horizont weitestgehend nicht zu durchörtern. Dies führte zu Gewinnungsverlusten von ca. 25-30%, da die unter dem Zwischenmittel anstehenden Kiessande nicht hereingewonnen werden konnten.

Unter Torfbildung versteht man die Entstehung humusreicher Horizonte bei der Verlandung bzw. Vermoorung von stehenden Gewässern. Torfhorizonte bestehen zum größten Teil aus vermoderten und miteinander verflochtenen Pflanzenteilen und können erhebliche Mächtigkeiten erreichen. Der Anteil an Mineralkörnern im Torf ist gering. Im weiteren Verlauf der Genese kann sich Torf zu Braunkohle entwickeln.

Einlagerungen von Torf- und Braunkohlehorizonten innerhalb einer Lagerstätte führen i.d.R. zu einem sehr großen Aufwand in der Aufbereitung, da diese Bestandteile den Kiessand für nahezu alle Verwendungsmöglichkeiten infolge der Herabsetzung der Festigkeitseigenschaften des Betons unbrauchbar macht. Oftmals sind diese Schichten mit dem Liegenden verzahnt, so dass eine selektive Baggerung der hangenden Schicht unter Einhaltung eines Sicherheitsabstandes denkbar wäre.

Abb. 3-7 zeigt das geologische Querprofil einer Lockergesteinslagerstätte am Niederrhein mit einem Braunkohlehorizont, der mit dem Liegenden verzahnt ist. Bei der Gewinnung mittels Schneidradaugbagger wurde dieser Horizont nur einmal angefahren (s. Pfeil in Abb. 3-7). Durch den dabei gewonnenen und in die Aufbereitungsanlage geförderten braunkohlehaltigen Kiessand wurden dennoch sämtliche Mengen im Vorsilo unbrauchbar. Eine Wiederholung dieses Vorganges und der dadurch entstehende wirtschaftliche Verlust kann nur vermieden werden, wenn das Gewinnungsgerät mit einer geeigneten Abbaukontrollanlage ausgestattet und diese wiederum mit einem repräsentativen Geländemodell nach entsprechender Erkundung beschickt ist.

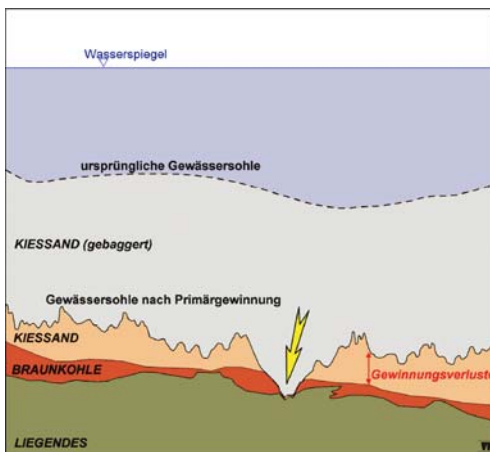


Abb. 3-7 Geologisches Querprofil einer Lockergesteinslagerstätte am Niederrhein mit Braunkohlehorizont

3.4 Bodenarten

3.4.1 Klassifizierung

Die Permanent International Association of Navigation Countries (PIANC) hat eine Bodenklassifikation ⁶⁶ herausgegeben, die häufig internationalen Nassgewinnungsarbeiten zugrunde liegt.

	in situ Materialeigen- schaften,	Bagger- methode, Produktion	Förder- methode, Produktion	Verschleiß bei Gewinnung und	Verwen- dung als Füllmaterial	Stand- sicherheit gebaggerte Böschung
bindige Böden	Kornverteilung	X		X		
	Scherfestigkeit	X	X			X
	Plastizität, Wassergehalt	X	X			
	in situ Dichte	X				X
	Mineralogie			X		
	Korndichte		X			
	Gasgehalt	X	X			
	rheologische Eigenschaften	X (weiche Böden)	X (weiche Böden)			
rollige Böden	organische Bestandteile	X	X			
	Kornverteilung	X	X	X		
	relative Dichte	X				X
	Verdichtungsei- genschaften				X	
	in situ Dichte	X	X			
	Mineralogie		X	X		
	Korndichte		X	X		
	Kornform	X		X		
	Durchlässigkeit	X				
	organische Bestandteile				X	

Abb. 3-8 Erkundungsumfang für Nassbaggerarbeiten gemäß PIANC

In Deutschland erfolgt die Einteilung der Bodenarten gemäß DIN 18311 sowie die geologische Beschreibung der Böden gemäß DIN 18196 (Tabelle 3-2). Die Nassbaggerarbeiten beschreibende DIN 18311 teilt Böden und Fels in die Klassen A bis M ein, u.zw.

- Bindige Böden
 - Klasse A fließende Bodenarten
 - Klasse B weiche bis steife bindige Bodenarten
 - Klasse C steife bis feste bindige Bodenarten
- Rollige Böden
 - Klasse D rollig-bindige Bodenarten
 - Klasse E gleichförmige, feinkörnige rollige Bodenarten
 - Klasse F feinkörnige rollige Bodenarten
 - Klasse G mittelkörnige rollige Bodenarten

- Klasse H gemischtkörnige rollige Bodenarten (Ma.-Anteile Sand > 80%, Kies < 10%, Schluff und Ton < 10%)
 - Klasse I gemischt- und grobkörnige Bodenarten (Ma.-Anteile Sand 50-90%, Kies 10-50%)
 - Klasse K grobkörnige rollige Bodenarten (Ma.-Anteile Sand < 50%, Kies > 50%)
- Fels
 - Klasse L lockerer Fels und vergleichbare Bodenarten
 - Klasse M fester Fels und vergleichbare Bodenarten

Tabelle 3-2 Klassifizierung des Bodens in Bodenklassen gemäß DIN 18311 (U: Ungleichförmigkeitsgrad, D: Lagerungsdichte, I_C: Konsistenzzahl, I_P: Plastizitätszahl)

Bodenklasse Bodentyp		Lockergesteinskennwerte				Kornfraktion	
		U	D	I _C	I _P	Ma.-%	
A	bindig, flüssig- breiig		< 0,3	< 0,25			
B	bindig, weich bis steif			< 0,85			
C	bindig, steif bis fest			> 0,85			
D	rollig – bindig			< 1,25	> 0,3	Mittelsand	< 40%
						Feinsand	15-90%
						Schluff und Ton	10-40%
E	rollig, gleichförmig, feinkörnig	< 6	< 0,3			Mittelsand	< 30%
						Feinsand	> 60%
						Schluff und Ton	< 10%
F	rollig feinkörnig	< 6	< 0,3			Fein und Mittelsand	> 80%
						Grobsand	< 10%
						Schluff und Ton	< 10%
G	rollig mittelkörnig	< 6	< 0,3			Fein und Mittelsand	50-90%
						Grobsand	10-40%
						Schluff und Ton	< 10%
H	rollig, gemischtkörnig	> 6	< 0,3			Kies	> 10%
						Fein und Mittelsand	> 80%
						Schluff und Ton	< 10%
I	rollig, grob und gemischtkörnig	> 6	< 0,3			Kies	10-50%
						Sand	50-90%
K	rollig grobkörnig	> 6	< 0,3			Kies	< 50%
						Sand	> 50%
L	lockerer Fels oder Böden mit vergleichbarer Eigenschaft		> 0,65 bindig > 0,50 rollig	> 1,25 bindig	> 0,3 bindig		
M	Fels und zementierte Böden	wie L jedoch kompakt					

Den Klassen sind Anteile an Ton, Schluff, Sand und Kies zugeordnet, so dass aus der Bodenbeschreibung bereits auf dessen Kornverteilung geschlossen werden kann.

Große Bedeutung für Nassgewinnung und Aufbereitung hat der Hinweis auf Hindernisse. Diese können entweder

- natürlicher Herkunft sein (Abb. 3-9), wie z.B.
 - für die Gewinnung relevante Findlinge bei glazialen oder glazifluviatilen Genesen,
 - für die Gewinnung und die Aufbereitung bedeutsame Ansammlungen von Baumstämmen oder
 - Karbonatisierungen an früheren Wasserstandslinien sowie
 - für die Auslegung der Aufbereitungsanlage bedeutsame tonige Einschlüsse.



Abb. 3-9 Natürliche Hindernisse, geborgene Blöcke

- anthropogener Herkunft sein (Abb. 3-10), z.B.
 - aus Rückverfüllungen und Verkippungen von z.B. Bauschutt bestehen, dessen seinerzeitige Verbringung nicht mehr bekannt ist,
 - Wrackteile,
 - Munition oder
 - verlorene Anker mit Ketten.

Die Erfahrung zeigt, dass Hindernisse insbesondere durch Bohrungen oft nicht erfasst werden. Die Erkundung erfolgt sehr häufig mit zu kleinem Bohrdurchmesser in ungenügend dichtem Raster. Die Rohrtour schiebt sich häufig am Findling vorbei oder der Baumstamm wird nicht getroffen. Blöcke beispielsweise verursachen neben den Schäden am Lösewerkzeug, sei es dem Schneidkopf des Saugbaggers, dem Schleppkopf des Laderaumsaugbaggers oder dem Greifer erhebliche Minderleistung. Baumstäm-

me beispielsweise verursachen nicht nur Minderleistung sondern bedeuten oftmals auch eine erhebliche Verunreinigung des Rohstoffes, der zusätzliche Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich macht, um die geforderten Qualitätsmerkmale eines Zuschlagstoffs zu erreichen.



Abb. 3-10 Aus einem Abgrabungsgebiet geborgener Bauschutt

3.4.2 Bindige Böden

Gemäß DIN 18311 fallen bindige Böden unter die Bodenklassen A bis C. Dabei handelt es sich um Böden wie:

- Schlick,
- Ton, Mergel und Lehm,
- tonig-schluffige Feinsande.

3.4.2.1 *Schlick*

Rezente Ablagerungen von Ton- und Schluffpartikeln $< 0,063$ mm bilden Schlick, aus dem im Laufe von Zeit und durch Druck infolge Auflast zunächst Klei, dann Schieferton, später Tonschiefer und schließlich Schiefer entsteht. Diese Schlickablagerungen haben für die Gewinnung und Aufbereitung beim Abbau von marinen Vorkommen, von Flusslagerstätten oder von älteren Lagerstättenteilen, in denen bereits Abbau umgegangen war und die im Zuge einer Sekundärgewinnung, weiter ausgebeutet werden sollen, eine große Bedeutung. Beispielhaft ist in Tabelle 3-3 die Zusammensetzung eines Schlicks aufgeführt.

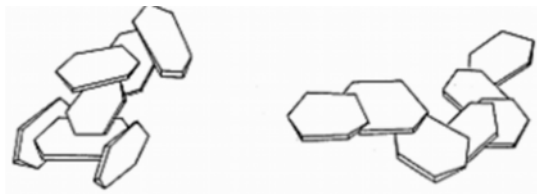
Tabelle 3-3 Zusammensetzung eines Schlicks

Bodenart	Ma.-%
Feinsand	8
Ton	44
Schluff	40
Organische Anteile	8

Bei den Tonmineralien der Tabelle 3-3 mit einem Anteil von insgesamt ca. 44 Ma.-% tritt im vorstehend dargestellten Schlick neben Smectiten, Kaolinit und Chlorit das Mineral Illit mit einem Anteil von i.M. ca. 24 % als das mit Abstand häufigste Tonmineral auf. An Nicht-Tonmineralien wird neben Albit, Kalkfeldspäten und Hämatit Quarz als häufigste Einzelkomponente mit i.M. ca. 28 % festgestellt.

Je nach pH-Wert, Salzgehalt und sonstigen Beimengungen im Wasser können die Tonmineralteilchen über Flächen/Flächen- und/oder Kanten / Kanten-Kontakte oder Mischungen aus beiden Arten aggregieren und dabei Kartenhaus- oder Bänderstrukturen bilden. Die Kartenhausstruktur ergibt sich insbesondere im sauren und semi-salinen Bereich, die Bänderstruktur im alkalischen Milieu.

Diese Kartenhausstrukturen^{67, 68} haben entscheidenden Einfluss auf die Verweildauer des Tonminerals im Schwebezustand, d.h. auf sein Absetzverhalten. Dieses wiederum kann in Verbindung mit den Strömungsbedingungen erheblichen ökologischen Einfluss haben. Auch spielt diese Frage bei der Einschätzung der hydrologischen Auswirkungen des Abbaus auch in quasi stehenden Gewässern eine Rolle, in denen dennoch eine Kolmatierung von Böschungen im Grundwasser-abstrom erfolgt, die wiederum einen Grundwasseranstieg zur Folge hat.

**Abb. 3-11 Modell einer Kartenhaus- bzw. Bänderstruktur**

Die chemische Belastung eines Schlickes war bis bekannt werden der Bedeutung der Kontaminationen durch die organische Verbindung Tributylzinn (TBT) im Jahre 1997 praktisch ausschließlich durch Schwermetalle gegeben. In norddeutschen Industriehäfen dürfte es sich bei den festgestellten Belastungen weniger um natürlich gegebene Bedingungen handeln sondern im Wesentlichen um Nachfolgen der Aufbereitung und Verhütung von Harzer Erzen sowie durch Einträge aus den vor Ort tätigen

Werftbetrieben. In Tabelle 3-4 sind einige Werte von Schmermetallbelastungen aufgelistet (darin bedeutetet RW: Richtwert, 5 RW: das fünffache des RW, BLABAK Bund-Länder-Arbeitskreis Baggergut Küste).

Tabelle 3-4 Schwermetallanteile im Hafenschlick und dessen Vergleich mit gängigen Grenzwerten

Gesamtprobe / Einheit ppm	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	As
Quantitative Nachweisgrenze	12	9	18	15	12	6	21
Probe1	112	< 9	115	140	67	462	23
Probe2	173	< 9	133	156	63	624	30
Probe3	102	< 9	109	68	44	375	26
Probe4	88	< 9	100	50	33	255	< 21
Probe5	73	< 9	94	27	38	227	< 21
Probe6	86	< 9	101	41	47	326	28
Mittelwert gesamt	111	< 9	111	100	48	380	26
Zulässige Grenzwerte gemäß							
Holland-Liste (< 2000µm)	85	0,8	100	36	35	140	29
Klärschlammverordnung (< 2000µm)	100	1,5	100	80	50	200	20
BLABAK- Entwurf Nordsee, 9. Fassung (1996) (< 20µm)	RW	90	1,5	120	30	300	40
	5 RW	450	7,5	600	150	1500	200

3.4.2.2 Ton, Mergel, Lehm

Schlick ist genetisch die vorausgehende Bildungsform von Tonschichten. Diese Böden sind gekennzeichnet durch Verformbarkeit, Kohäsion und Adhäsion an andere Materialien und Oberflächen.

Kennzeichnendes Merkmal ist die Konsistenz. Bei steiferer Konsistenz können sie nur durch mechanisches oder hydraulisches Schneiden abgegraben werden. Der entscheidende, die Art, Auslegung und Größe des Schwimmbaggers, aber auch der Aufbereitungsanlage bestimmende Kennwert, ist die Scherfestigkeit des Tons τ_f bzw. des bindigen Bodens.

Beim mechanischen Lösen mittels Schneidkopf kann sich dieser zu- setzen und damit den Zulauf des gelösten Materials zum Saugkopf verhindern (Abb. 3-12). Oder das Baggergut, an der Eimerwandung des Eimerkettenbaggers anhaftend, löst sich zu spät aus dem Eimer und entleert nicht mehr über den Schüttrumpf in die Schute sondern fällt auf die Gewässersohle zurück, was Nachbaggerung zur Folge hat.



Abb. 3-12 Mit bindigem Boden zugesetzter Schneidkopf

Scherfestigkeit und Konsistenz sind auch entscheidend für die Auswahl des am besten geeigneten Transportmittels. Steifere Tone bilden beim Lösen oft mehr oder weniger große Klumpen, die den hydraulischen Rohrleitungstransport beeinflussen, indem die während des Feststofftransports zu überwindende kritische Geschwindigkeit erheblich größer wird. Da der Rohrwiderstand mit dem Quadrat der Rohrgeschwindigkeit einhergeht, wird höherer Druck notwendig, um den Transport durchzuführen, d.h. mehr Energie muss verfügbar sein. Andernfalls besteht die Gefahr einer Verstopfung der Rohrleitung.

Im Falle des Verklappens ergibt sich keine vergleichsweise ebene Sohle mehr wie bei rolligen Böden sondern es entstehen Haufen mit oftmals steilen Böschungen mit der Folge sich rasch ändernder Tiefgangsverhältnisse am Verbringungsort und sehr unregelmäßigem Profil der Gewässersohle.

Aufbereitungstechnisch können steifere bindige Böden ebenfalls zum Problem werden und die Qualität der Körnung beeinflussen, wenn die bindigen Böden nach Rohrleitungstransport und Aufbereitung Stücke in Größe der Soll-Körnung bilden (Abb. 3-13). Die Abbildung zeigt die verunreinigte Körnung 16/32 mit vielen Tonstücken in Größe des Wertminerals.

Sehr weiche Tone und Schluffe, die oftmals im Zuge einer Restgewinnung oder einer Unterhaltungsbaggerung angetroffen werden, verhalten sich wie Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten, deren rheologische Charakteristiken zum normalen Untersuchungsumfang bei hydraulischem Feststofftransport gehören.

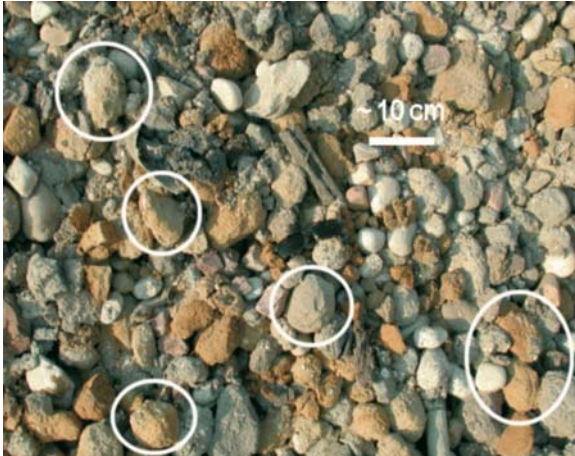


Abb. 3-13 Tonklumpen in Soll-Körnungsgröße nach Transport und Aufbereitung

Oberhalb von Ton- und Schluffablagerungen können oft Kiese, Steine und Blöcke angetroffen werden, die sowohl beim Lösen als auch beim Heben und anschließendem Transport hinsichtlich des Verschleißes sowie deren Transportfähigkeit analysiert werden müssen. Die repräsentative Ermittlung des anstehenden Anteils solchen Materials ist eine große Problematik der Erkundung und erfordert viel Erfahrung bei der Auswahl der Erkundungsmethoden und -ausrüstung sowie der Interpretation der Messergebnisse.

Bindige Böden haben darüber hinaus nach dem Verspülen einen hohen Auflockerungsfaktor, der zur Dimensionierung des Spülfeldes oder der Klappstelle bestimmt werden muss. Weiter ist die Frage nach der Konsolidierungszeit solcher gespülter Böden oftmals von Bedeutung, wenn es um den Zeitpunkt der Wiedernutzbarkeit geht.

Schließlich haben sie oftmals erheblichen Einfluss auf die Standsicherheit von Böschungen sowohl über als auch unter Wasser.

3.4.3 Rollige Böden

Die rolligen Böden entsprechen gemäß DIN 18311 den Bodenklassen D bis K.

Rollige Böden sind im Wesentlichen Sand und Kies. Deren Kennwerte zur Beschreibung der für Gewinnung und Aufbereitung relevanten Eigenschaften sind:

- mineralogische Zusammensetzung,
- Kornverteilung,
- Kornform,
- Lagerungsdichte und
- Durchlässigkeit.

Diese Kennwerte bestimmen die Lösbarkeit und damit die in der Zeiteinheit förderbare Menge sowie die erforderliche Leistung für das Lösen aus dem Gebirgsverband, das Heben an die Wasseroberfläche und den Transport bis zur Aufbereitungsanlage. Sie lassen darüber hinaus eine Abschätzung des zu erwartenden Verschleißes zu. Die Kennwerte werden weiter unten ausführlich diskutiert.

3.4.4 Fels

Die Bodenart Fels entspricht gemäß DIN 18311 den Bodenklassen L und M.

Die Kenntnis von Festigkeit und Struktur des abzugrabenden Felses sind die wichtigsten Parameter, um zu entscheiden, ob der Fels direkt gebaggert werden kann oder vorher durch Meißeln und/oder Sprengen gelockert werden muss.

I.d.R. erfolgt im Zuge der Nassgewinnung von Kies und Sand keine Felsbaggerung. Allerdings können felsähnliche Ablagerungen z.B. nach Karbonatisierungen oder infolge anderer chemischer Verfestigungen anstehen, die erheblichen Einfluss auf die Auswahl des Lösewerkzeugs sowie des Feststofftransports nehmen.

3.5 Relevante geotechnische Daten

Die für die Nassgewinnung und Aufbereitung relevanten geotechnischen Parameter werden im Labor ermittelt⁶⁹. Labortests werden in 3 Klassen eingeteilt:

- Klasse 1: Die Tests sind unbedingt erforderlich für die Beurteilung des zu gewinnenden Materials. Die Tests sind weit verbreitet.
- Klasse 2: Die Tests dienen der ergänzenden Bestimmung des abzugrabenden Materials.
- Klasse 3: Tests haben begrenzte Aussagekraft und sind nicht weit verbreitet. Solche Tests sind nur in Ergänzung zu denen der Klassen 1 und 2 verwendbar.

Die wichtigsten Parameter für die Beurteilung und Auslegung einer Nassgewinnungs- und Aufbereitungsanlage sind in der nachfolgenden Tabelle 3-5 aufgeführt.

Tabelle 3-5 Wichtigste Parameter für Nassgewinnung und Aufbereitung

Parameter	Wesentlichste Bedeutung für	
	Nassgewinnung	Aufbereitung
Genese Lagerstätte und Ausbildung	X	
Bodenart	X	X
Kornverteilung	X	X
Ungleichförmigkeit	X	X
Konsistenz	X	
Dichte und Scherfestigkeit	X	X
Kornform	X	X
Stoffliche Merkmale		X
Kontaminanten		X

3.5.1 Korngrößenverteilung

Ein anderes Kriterium der Charakterisierung von Lockergesteinen ist die Korngröße und deren Verteilung (Abb. 3-14). Grundsätzlich ist auch hier eine Reifung des Lockergesteins zu beobachten. Grobkörnige, kantige Komponenten, wie Schotter sind eher in Liefergebietsnähe zu finden, während feinkörnige, gut gerundete Sedimentkörner, wie Sand, in entfernteren Ablagerungsräumen anzutreffen ist.

Je geringer der Anteil verschiedener Korngrößen in einem Sediment ist, desto besser ist die Sortierung. Die ist von sehr unterschiedlichen Faktoren abhängig. Sie wird einerseits beeinflusst vom Verwitterungs- bzw. Bruchverhalten des Ausgangsgesteins und andererseits vom Ablagerungsmechanismus.

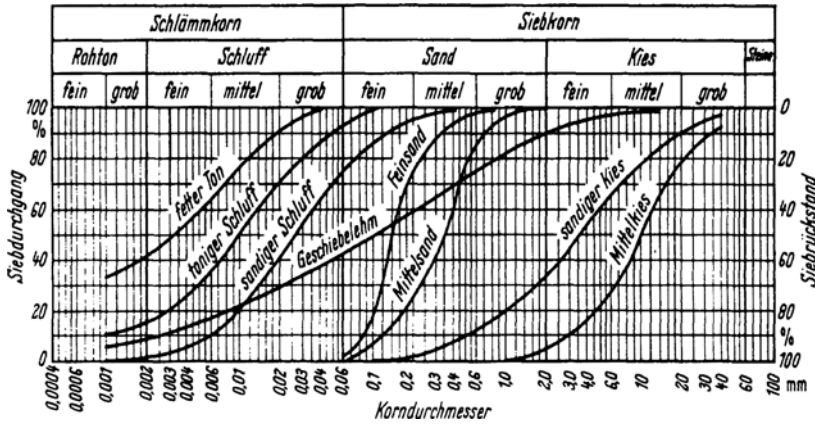


Abb. 3-14 Korngrößenverteilungen verschiedener Böden

Ein schneller Sedimenttransport mit rascher Ablagerung führt zu einer breiten Verteilung der Korngrößen, während ein sehr langsamer Sortiervorgang, wie ihn z. B. Wellen im Meer erzeugen, zu einem sehr steilen Korngrößenspektrum führt. Die Nutzung dieser Sande kann zu großen Problemen führen. So wird z.B. im Hoch- und Tiefbaubereich sowie in der Sandstein-, Mörtel- und Betonindustrie ein bestimmtes Korngrößenspektrum benötigt. Fehlen durch Sortiervorgänge bestimmte Kornfraktionen im natürlich gewachsenen Sediment, ist das Produkt u.U. unbrauchbar oder muss durch Zumischungen der fehlenden Kornfraktion auch aus anderen Lagerstätten nutzbar gemacht werden. So transportiert z.B. ein westdeutsches Kiesunternehmen Feinsande über ca. 400 km in sein ostdeutsches Filialwerk, um die dortige Lagerstätte durch Zusatz von solchen Feinsanden besser nutzbar zu machen, da dieser Korngrößenbereich dort vollkommen fehlt. Umgekehrt liefert das ostdeutsche Werk als Rückfracht Spezialsande nach Westdeutschland.

Grundsätzlich sind grobkörnige Sedimente weiter gestuft als feinkörnige, wie z.B. Strandsande, die über ein geringes Korngrößenspektrum verfügen. Bei der Auslegung des hydraulischen Feststofftransports wird bei weitgestufte Boden neben dem Mittelwert d_{xf} , der sich direkt aus der Korngrößenverteilungskurve als der Korndurchmesser bei 50 Ma.-% Siebdurchgang ergibt, ein weiterer Mittelwert d_{mf} herangezogen, der den Gradienten der Korngrößenverteilungskurve berücksichtigt und als relevanter Korndurchmesser Eingang in die Berechnungsformeln findet. Dieser d_{mf} -Wert berechnet sich nach folgender Beziehung

$$d_{mf} = \frac{d_{10} + d_{20} + \dots + d_{90}}{9} \quad (3-1)$$

Korngrößenverteilungskurven beschreiben die verschiedenen Korngrößen und deren Mengenanteile an einer Probe. Die Verteilungskurve wird als Schlämmanalyse für Material $< 63 \mu\text{m}$ und als Trockenanalyse für Material $63 \mu\text{m} < d < 63 \text{ mm}$ entsprechend der Kornverteilung der Sand- und Kiesfraktion erstellt. Aus der Korngrößenverteilung lassen sich die Feinheitsmerkmale und damit die wesentlichen Parameter nicht nur auf das Verschleißverhalten aller Gewinnungs- und Förderverfahren sowie den erforderlichen Energiebedarf für Lösen, Heben und Fördern ableiten, sondern auch alle für die im Zuge der Aufbereitung nachfolgenden mechanischen Trennverfahren. Zu den Feinheitsmerkmalen gehören alle Aussagen zur Größe des Baggergutes bzw. seiner Partikel ⁷⁰.

3.5.2 Ungleichförmigkeitsgrad

Der Gradient der Korngrößenverteilungskurve bestimmt den Ungleichförmigkeitsgrad U des untersuchten Probematerials. Dieser ist durch folgende Beziehung definiert

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3-2)$$

mit

d_{60} Korndurchmesser bei 60 Ma.-% Siebdurchgang

d_{10} Korndurchmesser bei 10 Ma.-% Siebdurchgang.

Boden mit einer Ungleichförmigkeit

- von $U < 5$ wird als gleichförmiger Boden eingestuft,
- von $U = 5 - 15$ als ungleichförmiger Boden und
- von $U > 15$ als sehr ungleichförmiger Boden.



Abb. 3-15 Ergebnis einer Saugbaggerung in pleistozänem Quarzsand (im unteren Bereich erfolgte Baggerung mit einem Schneidkopfsaugbagger (ebene Sohlfläche), im oberen Bereich eine Grundsaugbaggerung mit Niederdruckwasseraktivierung des Saugkopfes (sehr unebene Sohlfläche))

Der Ungleichförmigkeitsgrad hat für die Beurteilung folgender Situationen besondere Bedeutung bei:

- der Beurteilung der Lösbarkeit des Bodens,
- der Standsicherheit von Böschungen und der erforderlichen Gemischstromgeschwindigkeit.

Lösbarkeit des Bodens

Die Beurteilung der Lösbarkeit des Bodens erlaubt die Einschätzung, ob mit oder ohne mechanische oder hydraulische Lösehilfe gewonnen werden kann. Enggestufte Sande sind meist dichter gelagert als weitgestufte, zumal, wenn sie konsolidiert sind, wie beispielsweise pleistozäne Sande. Höhere Lagerungsdichte führt zu einem höheren Winkel der inneren Reibung ϕ , d.h. steileren Böschungen. Solches Material bedingt eine Lösehilfe, sei es Greifer, Schneidkopf oder Eimerkette. Grundsaugen verbietet sich oftmals in solchen Lagerstätten.

Die Abb. 3-15 zeigt einen südlichen Bereich, der mit Hilfe eines CSD gebaggert wurde, sowie einen nördlichen, in dem ein SD eingesetzt wurde. Der dicht gelagerte Sand lief den Saugmund nicht zu, es bildete sich das im Nordteil gemessene Kraterrelief.

Verflüssigungspotential von Böden

Einkörnige Böden sind per se fließgefährdet und damit weniger standsicher im Endböschungsbereich. Dies hat erheblichen Einfluss auf die gewinn- und nutzbaren Vorräte (Abb. 3-74), denn flachere Böschungen bedeuten erheblich größere Abbauverluste und i.d.R. auch weit größere

Gewinnungsverluste, da der Boden im Zuge der Nassgewinnung i.d.R. nicht kontrolliert gebaggert wird wie in der wasserbaulichen Nassbaggerei.

Böschungsbrüche treten häufig in den Sandabbauern Norddeutschlands auf. Die Brüche entstehen infolge von Bodenverflüssigung als Setzungsfließen im Sinne von Terzaghi⁷¹ und resultieren in Böschungsabflachungen mit beachtlichen Rückgriffweiten in das Hinterland. Für die Bemessung einer Sicherheitsberme oder eines Sperrstreifens im Sinne von Förster & Vogt⁷² steht nach dem derzeitigen Stand der Technik und Wissenschaft kein geeignetes Berechnungsmodell zur Verfügung. Bei Umlagerungsbewegungen im Zuge der Gewinnung kann es mit Anstieg des Porenwasserüberdruckes zum Verlust der Scherfestigkeit und Lastabtragung über das Korngemisch kommen: Der Boden verhält sich dann wie eine Flüssigkeit.

Gleichförmige und feine Sande neigen grundsätzlich mehr zur Bodenverflüssigung als ungleichförmige und grobe Sande. Entscheidenden Einfluss hat die Lagerungsdichte. Je lockerer der Sand gelagert ist, umso eher ist mit einer Verflüssigung zu rechnen. Bei sonst gleichen Bedingungen nimmt die Neigung zur Verflüssigung mit der Zunahme der wirksamen Spannungen im Boden ab. Bei hoch liegendem Grundwasserspiegel ist die Gefahr der Verflüssigung größer als bei tiefem Grundwasserstand. Böden, deren Körnung im Bereich zwischen Mittelschluff und Grobsand liegt, sind verflüssigungsgefährdet. Dies gilt besonders für Feinsande. Bei Kiesen tritt Verflüssigung nur kurzzeitig auf. Deshalb können keine schädlichen Schubverformungen entstehen.

Zur Beurteilung des Verflüssigungspotentials eines Bodens werden beispielsweise von Seed & Idriss und Raju⁷³ weiterführende Kriterien angeführt. Diese lassen sich offensichtlich ohne weiteres auf die Verhältnisse bei der Gewinnung von Sand und Kies übertragen. Zur Abschätzung des Verflüssigungspotentials wird in KTA 2201.2⁷⁴ ein empirisch entwickeltes und recht einfaches Verfahren nach Seed & Idriss⁷⁵ beschrieben.

Die Kornsummenkurve des zu betrachtenden Bodens ist in ein entsprechendes Diagramm wie in Abb. 3-16 einzutragen. Liegt der wesentliche Anteil der Korngrößenverteilungskurve außerhalb der aufgetragenen Zone 1 oder 2, ist eine Verflüssigung nicht anzunehmen. Liegt der wesentliche Anteil der Korngrößenverteilungskurve hingegen innerhalb der jeweiligen Zone 1 oder 2, ist eine Verflüssigung nicht auszuschließen. Ein Verflüssigungspotential ist dabei nach Meyer & Fritz⁷⁶ im besonderen Maße für die zentrale Zone 2 anzunehmen.

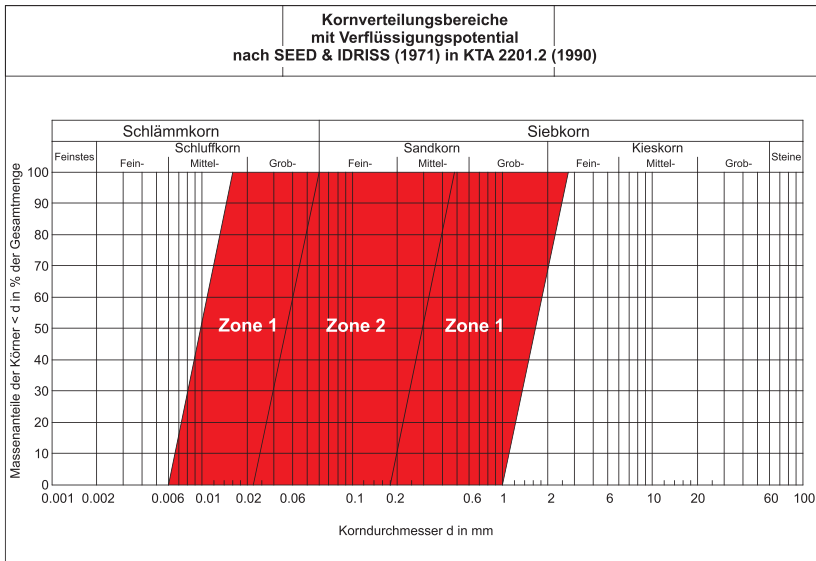


Abb. 3-16 Korngrößenverteilungsbereiche mit Verflüssigungspotential in KTA 2201.2

Eine Begünstigung des Verflüssigungspotentials ist nach Raju weiterhin bei Erfüllung der nachstehend angeführten Kriterien gegeben:

- Die Feinkörnigkeit eines Lockergesteins bedingt eine geringe Durchlässigkeit. Damit werden der Anstieg des Porenwasser
- überdrucks und die Verflüssigung des Bodens ermöglicht.
- Die Gleichförmigkeit eines Lockergesteins bedingt eine große Spanne zwischen der Porenzahl bei lockerster und dichtester Lagerung sowie ein ausgeprägtes kontraktantes Verhalten bei lockerer Anfangslagerung. Damit wird die Verflüssigung des Bodens unter gesättigten Bedingungen begünstigt.
- Die Zurundung der Körner bedingt einen kleineren Reibungswinkel als bei kantigen Körnern. Damit wird die Verflüssigung des Bodens in offensichtlicher Weise ebenfalls begünstigt.
- Eine größere Porenzahl als die kritische Porenzahl bedingt eine weitere akute Verflüssigungsgefahr.

Erforderliche Gemischstromgeschwindigkeit

Die bei hydraulischem Feststofftransport erforderliche Strömungsgeschwindigkeit des Boden-Wasser-Gemisches lässt sich wie in Tabelle 3-6 aufgelistet unterteilen ⁷⁷.

Tabelle 3-6 Einfluss des Bodens auf den hydraulischen Feststofftransport

Material	Korngröße	Anmerkungen
Schluffiges toniges Spülgut	< 0,063 mm	Spülgut verhält sich wie eine homogene Flüssigkeit. Der Druckhöhenverlust erhöht sich gegenüber dem reinen Wassers um die größere Gemischdichte.
Feinkörniges Spülgut	< 0,063–0,15 mm	Das Gemisch verhält sich wie eine Reinwasserströmung.
Fein- Mittelsand	Anteil Mittelsand <60 %	Das Spülgut verhält sich wie schluffig-toniges Spülgut.
Grobsande, Kiese	< 0,3 – 10,0 mm	Der Feststofftransport wird mit Hilfe des Beiwertes ψ berechnet.
Kies	> 10 mm	Der Feststofftransport wird mit Hilfe des Beiwertes ψ' sowie eines Korrekturbeiwertes berechnet.

Der empirisch ermittelte Beiwert ψ nach Juffin⁷⁸ ist in der folgenden Tabelle 3-7 aufgeführt. Er gilt für Spülgut mit einem Kornband von $d_{50} = < 0,3$ mm bis 10 mm.

Tabelle 3-7 Beiwert ψ nach Juffin

Wert	Korngröße								
μm	60-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-3000	3000-5000	5000-10000	10000
Ψ	0,02	0,098	0,404	0,755	1,155	1,5	1,77	1,94	2,0

3.5.3 Kornform

Die Kornform beeinflusst u.a. die Lagerungsdichte des Bodens. Ihre Kenntnis wird deshalb zur Beurteilung der Lösbarkeit des Bodens und damit der erforderlichen Schneidkopfleistung, der erreichbaren Produktion, herangezogen. Weiter nimmt sie Einfluss auf den Verschleiß, den Sieberfolg sowie das Fließvermögen von Beton oder bituminösem Mischgut, deren Verdichtungsgrad und Verarbeitbarkeit. Sie wird nach DIN 52114 mittels der Pösschen Kornformschieblehre bestimmt.

Die Kornform ist von der Materialart abhängig sowie von der Genese der Lagerstätte, d.h. dem Einfluss des Transports und der Verwitterungsgeschichte. Minerale wie Quarz, Kalk oder Dolomit sind meist gedrungen, Tone kommen plättchenförmig vor, Hallosite stäbchenförmig.

Man unterscheidet 5 Gruppen von kubischer bis runder Kornform. Der Rundungsgrad nimmt z.B. erheblichen Einfluss bei der Bewertung des zu erwartenden Verschleißes⁷⁹.

Zur Beurteilung des Rundungsgrades und der Kornform wird die Einteilung nach Russel, Taylor&Pettijohn (Tabelle 3-8) ⁸⁰ bzw. die nach Krumbein&Sloss ⁸¹ genutzt (Abb. 3-17).

Tabelle 3-8 Kornform und Rundungsgrad

Kornform	Rundungsgrad
vollständig kubisch	0,00 - 0,15
gering kubisch	0,15 - 0,25
gering gerundet	0,25 - 0,40
Gerundet	0,40 - 0,60
vollständig gerundet	0,60 - 1,00

Die Kornform nimmt darüber hinaus Einfluss auf den Rohrwiderstand bei hydraulischer Förderung, den Verschleiß des Transportmittels sowie die Auslegung der mechanischen Aufbereitungsausrüstungen und nicht zuletzt den Verschleiß dieser Anlagen. Der Einfluss des Verschleißes auf den Wirkungsgrad einer Baggerpumpe infolge Materials mit geringem Rundungsgrad und damit höherem Verschleiß wird in Abb. 3-18 verdeutlicht.

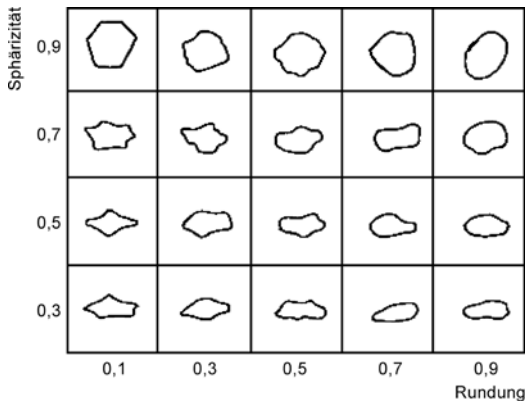


Abb. 3-17 Beurteilung des Rundungsgrades nach Krumbein&Sloss

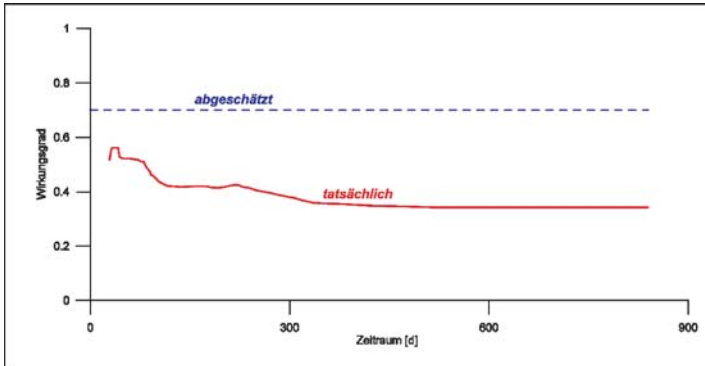


Abb. 3-18 Abnehmender Wirkungsgrad einer Baggerkreiselpumpe bei Baggerung von gering gerundetem Material ⁸²

In der Nassgewinnung bestimmt die Kornform

- die Lagerungsdichte.
- Die Lagerungsdichte nimmt mit zunehmendem Anteil plattiger Körner ab. Sie ist maßgeblich für die Auswahl des Gewinnungsverfahrens sowie des einzusetzenden Lösewerkzeuges.
- den Hohlraumgehalt.
- Der Hohlraum steigt mit abnehmendem Anteil kubisch geformter Körner an. Der Zusammenhang ist linear (Abb. 3-19).
- die Standsicherheit von Böschungen.
- Einkörnige runde Sande neigen eher zum Setzungsfließen als kubische Körner mit rauer Oberflächenstruktur.
- den Verschleiß.

Runde einkörnige Sande aus den Ästuaren der norddeutschen Küste mit einem d_{50} -Wert von beispielsweise 180 μm verursachen einen wesentlich geringeren Verschleiß als Sande vom Oberrhein gleichen Durchmessers. Bei Stahlrohrspülleitungen geht man bei den vorgenannten einkörnigen Seesanden von einem Verschleiß von 1 mm Wandstärke je 700.000 – 1.500.000 m^3 aus. In der Kiessandgewinnung dagegen ist die Standzeit der Rohre um ein vielfaches kürzer. Bei Grundsaugbaggerung an der Oberelbe betrug sie rd. 3.000 m^3 je mm Wandstärke. Die Auswirkung auf den Wirkungsgrad einer Baggerkreiselpumpe ist in Abb. 3-19 dargestellt.

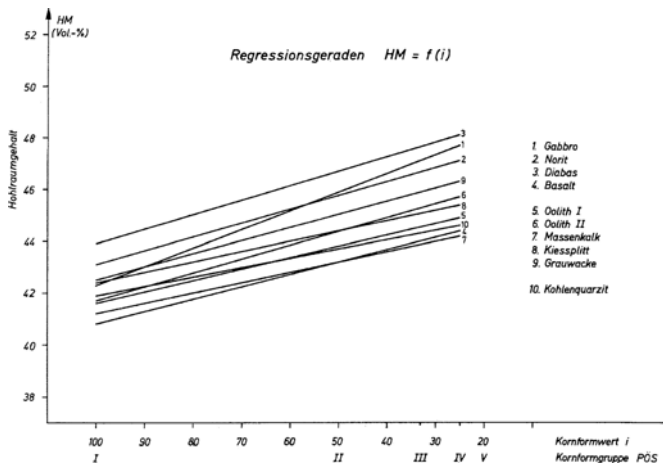


Abb. 3-19 Abhängigkeit von Hohlraumgehalt und Kornform verschiedener Gesteine der Fraktion 8/12 (Kornformgruppe I: kubisch, V: plattig gem. Definition nach Pös, Kornformwert i: Summe Ma.-% je Kornformgruppe/Nr. der Kornformgruppe nach Pös⁸³⁾)

In der Aufbereitung bestimmt die Kornform

- den Sieberfolg.
Mit zunehmendem Anteil plattiger Körner ist der Sieberfolg schlechter und es wächst der Anteil an Unterkorn der Sollkörnung.
- den Zerkleinerungserfolg,
- die Schüttdichte.
Mit abnehmender Korngröße, Ungleichförmigkeit, ungünstigerer Kornform und damit größerer Kornoberfläche nimmt die Schüttdichte ab.

Bei der Verarbeitung von Zuschlagstoffen bestimmt die Kornform

- den Bindemittelbedarf.
Mit zunehmendem Anteil ungünstig geformter Partikel steigt der Bindemittelverbrauch (Zement, Kalk, Bitumen) und der Wasseranspruch.
- die Verarbeitbarkeit des Betons.
Mit zunehmendem Anteil ungünstig geformter Partikel verschlechtert sich die Verarbeitbarkeit.
- die Schlagfestigkeit.
Bituminöses Mischgut wurde nach Einbau untersucht. Dasjenige mit höherem Anteil plattiger Kornform wies einen höheren Zertrümmerungswert nach Verdichtung beim Einbau aus. Gleiches gilt für sonstige gebundene und ungebundene Haufwerke.

- den Fließwert.
Mit zunehmendem Anteil plattiger Körner nimmt der Fließwert ab.

Im Zuge der Nassgewinnung erfährt das Material nach dem Lösen aus dem gewachsenen Zustand eine Auflockerung. Der Auflockerungsgrad ist das Verhältnis von gebaggertem Volumen zu dem in situ anstehenden. In Tabelle 3-9 sind einige Auflockerungsgrade bei mechanischer und hydraulischer Gewinnung aufgelistet.

Tabelle 3-9 Auflockerungsgrad verschiedener Böden in Abhängigkeit von der Gewinnungsart

Bodenart	Auflockerungsgrad	
	Gewinnungsart	
	Mechanisch	Hydraulisch
Leichter Fels (gesprengt)	1,25 – 1,4	
Dicht gelagerter Kies	1,35	
Locker gelagerter Kies	1,10	
Dicht gelagerter Sand	1,25 – 1,35	1,03 – 1,06
mitteldicht gelagerter Sand	1,15 – 1,25	
Locker gelagerter Sand	1,05 – 1,15	
Fester Ton	1,15 – 1,25	1,50 – 2,00
Weicher – steifer Ton	1,10 – 1,15	2,00 – 2,50
Breiig – weicher Ton	1,00 – 1,10	1,00 – 1,10
Toniger Kiessand	1,15 – 1,35	

3.5.4 Konsistenz

Die Konsistenz beschreibt die Zustandsform bindiger Böden und ist damit der Hauptparameter für deren Beurteilung. Die Konsistenz variiert nach Atterberg^{84, 85} zwischen festem und flüssigem Zustand bindiger Böden. Man unterscheidet mit abnehmendem Wassergehalt einen breiigen, plastischen, halbfesten und festen Bereich. Oberflächenkräfte binden die Partikel bei geringerem Wassergehalt mehr als bei höherem Wassergehalt. Feste Böden haben einen Faktor > 1, flüssige den von 0. Die Grenzwerte werden als die sog. Atterberg-Werte beschrieben und nach DIN 18122 bestimmt (Abb. 3-20):

- Fließgrenze w_L : Wassergehalt bestimmt aus 4 Einzelmessungen nach der sog. 4-Punkt-Methode. Die Fließgrenze ist derjenige Wert w , der sich bei 25 Schlägen ergibt.
- Ausrollgrenze w_p : Wassergehalt, bei dem 3-4 mm dicke ausgerollte Bodenproben zu zerbröckeln beginnen.

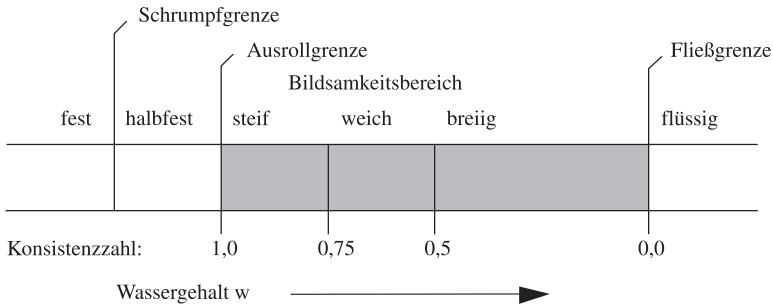


Abb. 3-20 Atterberg-Grenzwerte

Die Differenz zwischen Fließ- und Ausrollgrenze wird als Plastizitätszahl I_p nach Casagrande^{86, 87} bezeichnet. Mit der Plastizitätszahl lässt sich anhand der sog. A-Linie gem. Abb. 3-21 unterscheiden, ob ein Ton (Böden oberhalb der A-Linie mit $I_p < 4$) oder Schluff (Böden unterhalb der A-Linie mit $I_p > 7$) vorliegt

$$I_p = w_L - w_p \quad (3-3)$$

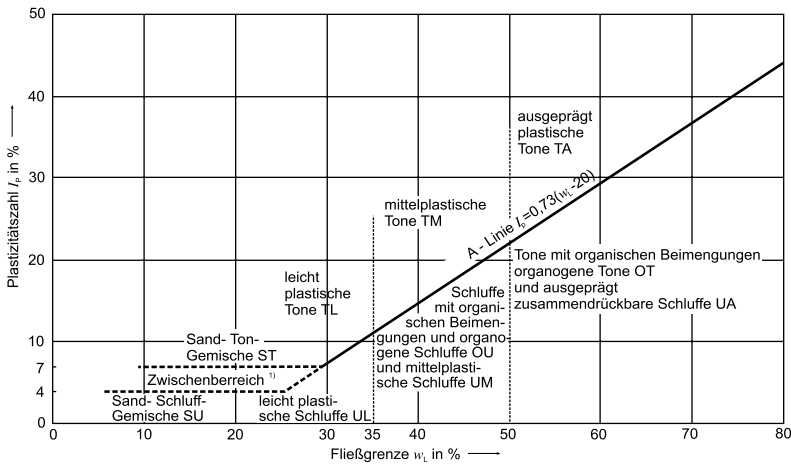


Abb. 3-21 Plastizitätsdiagramm nach Casagrande in DIN 18 196

Plastizitätszahl I_p und Wassergehalt w erlauben, die Festigkeit eines Bodens mittels der dimensionslosen Konsistenzzahl I_C zahlenmäßig zu beschreiben

$$I_C = \frac{(w_L - w)}{I_p} \quad (3-4)$$

Es ergibt sich die in der Tabelle 3-10 aufgeführte Einteilung.

Tabelle 3-10 Beschreibung bindigen Bodens mit Hilfe der Konsistenzzahl I_C

I_C	Zustand
0 – 0,25	Breiig
0,25-0,50	sehr weich
0,50-0,75	Weich
0,75-1,00	Steif
1,00-1,25	Halbfest
>1,25	Fest

3.5.5 Dichte, Wichte, Wassergehalt, Scherfestigkeit

Der geotechnischen Parameter Wassergehalt w , Dichte ρ , Wichte γ sowie die Scherfestigkeit bindigen Bodens nehmen in Zusammenhang mit der Auslegung eines Abbausystems großen Einfluß. Im folgenden werden die Parameter weiter erläutert.

3.5.5.1 Dichte

Unter Dichte wird das Verhältnis von Feuchtmasse m_f oder Trockenmasse m_d des Bodens zum Volumen verstanden. Die verschiedenen Dichten eines Bodens sind:

- ρ Rohdichte des Bodens
- ρ_f Feuchtdichte des Bodens sowie die
- ρ_K Korndichte
- ρ_d Trockendichte

$$\rho = \frac{m_f}{V} \quad (3-5)$$

$$\rho_f = \rho_d + n\rho_w \quad (3-6)$$

$$\rho_K = \frac{m_K}{V_K} \quad (3-7)$$

ρ_d Trockendichte des Bodens mit luftgefülltem Porenraum, Trocknung bei 105°C

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} \quad (3-8)$$

mit

w Wassergehalt

ρ_s Schüttdichte des aufgehaldeten Produktes

ρ_T Gemischdichte des Gemisches bei Feststofftransport

ρ_L Laderaumdichte des Baggergutes in Schuten und Laderaumbaggern.

Tabelle 3-11 Werte verschiedener Bodendichten

Dichte	Bezeichnung	Wert [t/m³]	Kies (dicht)	Sand (locker)	Ton
Rohdichte Korn	ρ_K	2,55–2,85			
Feuchtdichte Boden	ρ_f	1,79–2,40	2,24	1,82	1,90
Trockendichte Boden	ρ_d	1,30–2,15	2,00	1,30	1,60
Schüttdichte	ρ_s		1,60–1,80	1,40–1,60	
Gemischdichte	ρ_T		< 1,15	< 1,25	< 1,10
Laderaumdichte	ρ_L		< 2,00	< 1,50	< 1,20

Die Dichte bei Wassersättigung ρ_r ergibt sich nach

$$\rho_r = \rho_d + n \rho_w \quad (3-9)$$

mit

ρ_w Dichte Wasser

n Porenanteil.

Die Dichte unter Auftrieb ρ' ergibt sich nach der Beziehung

$$\rho' = \rho_r - \rho_w \quad (3-10)$$

3.5.5.2 Wichte

Unter Wichte γ wird die volumenbezogene Gewichtskraft verstanden, die ein Boden der Dichte ρ infolge der Erdbeschleunigung g ausübt. Die Wichte bestimmt sich nach

$$\gamma = \rho g \quad (3-11)$$

Die Feuchtwichte γ_f berechnet sich nach

$$\gamma_f = (1 - n)\gamma_f(1 + w) = \frac{1 + w}{1 + e} \quad (3-12)$$

mit

e Porenzahl.

Die Wichte γ' unter Auftrieb berechnet sich nach folgender Beziehung

$$\gamma' = (1 - n)(\gamma_s - \rho_w) = \gamma_r - \gamma_w = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} \quad (3-13)$$

3.5.5.3 Wassergehalt

Der Wassergehalt w ist bestimmt durch das Verhältnis von Wasser zu Trockenmasse. Zur Bestimmung der Wassermenge wird die Probe nach DIN 18121 bei 105°C getrocknet, organische Böden bei 60-65°C.

Die natürlichen Wassergehalte verschiedener Bodenarten betragen

- Mergel 15 – 20 %,
- Ton 20 – 60 %,
- Kiessand 40 – 60 %,
- Organische Böden 50 – 500 %.

Der Wassergehalt der gewonnenen oder aufbereiteten Kies- und Sandprodukte nimmt erfahrungsgemäß die nachstehend aufgeführten Werte an:

- Sand erdfeucht < 8,0 %,
- Kies aufgehaldet < 3,0 %,
- Kiessand aus Silo < 9,0 %,
- Kiessand hinter Schöpfradentwässerung 15 – 20,0 %,
- Kiessand aus Greifer < 12,0 %.

3.5.5.4 Sättigungszahl

Die Sättigungszahl S_f gibt an, in welchem Umfange die Poren eines Bodens mit Wasser gefüllt sind. Sie wird bestimmt nach der Beziehung

$$S_f = \frac{w \rho_s}{e \rho_w} = \frac{n_w}{n} \quad (3-14)$$

mit

 n_w wassergefüllter Porenanteil.

3.5.5.5 Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit entspricht der Kraft, die der Boden dem Lösewerkzeug entgegensetzt. Die Scherfestigkeiten von bindigen Böden sind deutlich höher als die rolliger Böden. Beim Löseprozess kann die Scherfestigkeit insbesondere bei plastischen Böden mit einer Konsistenzzahl $I_C < 1,0$ nach vollzogenem Vorbruch bis zu geringerer Gleitfestigkeit abnehmen, die in etwa dem Verformungswiderstand lockerer Böden entspricht. Nach DIN 18137 T1 berechnet sich die Scherfestigkeit τ_f wie folgt

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (3-15)$$

mit

φ	Reibungswinkel
c	Kohäsion
σ	Normalspannung.

Die Scherfestigkeit ermittelt sich bei rolligen Böden lediglich aus der Normalspannung und dem Reibungswinkel, da die Kohäsion dort gegen Null geht. Allerdings weisen rollige dicht gelagerte Böden oftmals eine scheinbare Kohäsion auf, die hauptsächlich durch Kapillarkohäsion entsteht und beim Abbau für kurzfristig sehr steile Böschungen verantwortlich ist.

Die Kohäsion wird durch die zwischen den Partikeln wirksame Haftkraft verursacht und ist stark vom Wassergehalt und dem Anteil von Tonmineralen abhängig. Bei einem Boden mit einer Konsistenzzahl $I_C < 0,25$ ist die Kohäsion 0 und steigt mit zunehmender Konsistenzzahl an.

Die Scherfestigkeit τ ist eine der wesentlichen Kenngrößen zur Ermittlung der erforderlichen spezifischen Schnittkraft F_s beim Schneidrad oder Schneidkopf sowie der Grabkraft des Eimerkettenbaggers. Die Scherfestigkeit τ ist vor allem von der Konsistenz des Bodens abhängig.

Gewinnungsgeräte mit mechanischen Lösewerkzeugen können kohäsive Böden ($\tau > 2 \text{ MN/m}^2$) wesentlich besser lösen als Geräte mit hydraulischen oder hydropneumatischen Lösewerkzeugen. Bei steigenden Scherfestigkeiten reduziert sich bei kohäsiven Böden die Gewinnungsleistung aller Gewinnungsgeräte.

3.5.6 Lagerungsdichte

Körner mit einem Durchmesser von $d > 0,63 \text{ mm}$ sind locker aneinander gelagert und sind damit bei hydraulischer Nassgewinnung häufig frei zu laufend. Je kleiner die Korngröße ist, desto größer ist die natürliche Lage-

rungsdichte. Die sich berührende Oberfläche der Körner ist viel größer als bei größerem Korn und es wird dadurch viel aufwändiger, die Körner zu bewegen. Der Aufwand wird noch erheblich mehr, wenn der Porenraum zwischen den Körnern, wie im Fall von Korngemischen mit weiter gestuften Kornverteilungen, mit Körnern kleineren Druckmessers ausgefüllt ist.

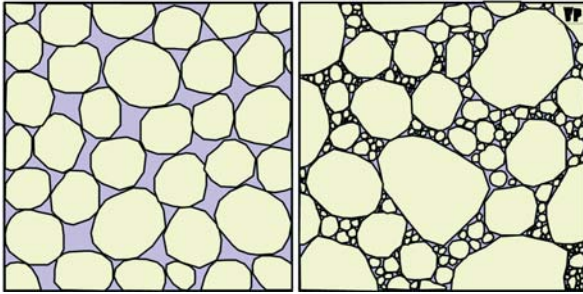


Abb. 3-22 In situ Lagerungsdichte verschiedener Korngemische

Größere Grabkraft ist notwendig, um die Körner aus ihrem Verband zu lösen. Die Kenntnis von Dichte, Kohäsion sowie der Scherfestigkeit des Bodens ist erforderlich, um das Lösen, Fördern und Verbringen dieser Böden sowie deren Aufbereitung (Läutern, Waschen, Klassieren) richtig einzuschätzen.

Auf die Scherfestigkeit bindiger Böden kann der Kalkgehalt erheblichen Einfluss nehmen, wenn er, im Grundwasser ausscheidend und die Plastizität des Bodens verringernd, dessen Scherfestigkeit erhöht.

Die in situ Lagerungsdichte als auch die Scherfestigkeit haben großen Einfluss bei der Wahl des Gewinnungsgerätes. Sehr dicht gelagerte Böden erfordern wesentlich höhere Schneidkräfte als locker gelagerte.

In Zusammenhang mit Fragen nach der Gewinnbarkeit eines Bodens ist der durchflusswirksame, d.h. für das Lösen nutzbare Porenanteil n_f von ausschlaggebender Bedeutung. Dieser kann mit Wasser oder mit Luft angefüllt sein.

Lockere Lagerung bedeutet i.d.R. frei zufließendes Material, das z.B. im billigeren Grundsaugebetrieb gebaggert werden kann. Dicht gelagerte Böden sind ohne weiteren Einsatz einer Lösehilfe für Grundsaugen nicht geeignet. Letzteres gilt auch für Sande mit bindigen Zwischenlagen.

Kenngrößen für die Beurteilung der Lagerungsdichte sind

- Porenzahl e ,
- Verdichtungsverhältnis I_D ,
- Wassergehalt w und Sättigungszahl S_f .

Die Porenzahl e bestimmt sich aus folgender Gleichung

$$e = \frac{V_B - V_F}{V_B} = 1 - \frac{V_F}{V_B} = \frac{V_H}{V_B} \quad (3-16)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (3-17)$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (3-18)$$

$$V_H = V_B - V_F \quad (3-19)$$

mit

e Porenziffer
 n Porenanteil
 V_H Volumen Wasser und Luft
 V_B Volumen Boden
 V_F Volumen Feststoff.

Die Porenzahl beschreibt die Lagerungsdichte und die Scherfestigkeit des Materials. Die mittleren Porenzahlen und Porenanteile nehmen mit zunehmendem Korndurchmesser ab. So ist der Porenanteil bei Ton ca. 0,45-0,6, bei Kies ca. 0,25-0,35.

Entscheidend für die hydraulische Gewinnung und Förderung ist jedoch der nutzbare Porenanteil n_f , der für eine Durchströmung in Abhängigkeit zur Durchlässigkeit des Materials zur Verfügung steht. Bei hohen Wasserdurchlässigkeiten ($k > 10^{-2}$ m/s) entspricht der nutzbare Porenanteil dem gesamten Porenanteil n .

Bei einer Verringerung der Durchlässigkeit nimmt der nutzbare Porenanteil überproportional ab und beträgt bei Ton ca. 0,01 - 0,05 und bei Kies ca. 0,20 - 0,25.

Nachfolgend sind einige mittlere Werte von Porenanteil n und Porenzahl e , sowie nutzbarer Porenanteil n_f angegeben (Tabelle 3-12).

Tabelle 3-12 Mittlere Werte von Porenziffer und Porenanteil

Bodenart	Porenzahl e	Porenanteil n	Nutzbarer Porenanteil n_f
Ton, schluffig	0,82 – 1,5	0,45 – 0,60	0,01 – 0,05
Mittelsand einkörnig	0,43 – 0,66	0,30 – 0,40	0,10 – 0,15
Sand kiesig	0,38 – 0,54	0,28 – 0,35	0,15 – 0,20
Kies sandig	0,33 – 0,54	0,25 – 0,35	0,20 – 0,25

Die Lagerungsdichte D rolliger Böden ergibt sich nach der Beziehung

$$D = \frac{n_{\max} - n}{n_{\max} - n_{\min}} = \frac{\rho_d - \rho_{d\min}}{\rho_{d\max} - \rho_{d\min}} \quad (3-20)$$

mit

- $n_{\max}$ maximaler Porenanteil
- $n_{\min}$ minimaler Porenanteil
- ρ_d Trockendichte
- $\rho_{d\min}$ Trockendichte bei lockerer Lagerung
- $\rho_{d\max}$ Trockendichte bei dichter Lagerung.

Die Lagerungsdichte D beschreibt den Zustand des Bodens wie in Tabelle 3-13 angegeben:

Tabelle 3-13 Lagerungsdichten D

Lagerungsdichte	D
sehr locker	$< 0,15$
Locker	$0,15 - 0,30$
Mitteldicht	$0,30 - 0,50$
Dicht	$> 0,50$

Mit den Extremwerten von e erhält man das Verdichtungsverhältnis I_D . Dabei bedeutet $I_D = 0$ lockerste Lagerung, $I_D = 1$ dichteste Lagerung. I_D wird bestimmt nach der Gleichung

$$I_D = \frac{e_{\text{locker}} - e}{e_{\text{locker}} - e_{\text{dicht}}} = \frac{\rho - \rho_{\text{locker}}}{\rho_{\text{dicht}} - \rho_{\text{locker}}} \quad (3-21)$$

mit

- e Porenzahl
- e_{locker} Porenzahl lockere Lagerung
- e_{dicht} Porenzahl dichte Lagerung
- ρ Feuchtdichte
- ρ_{locker} Feuchtdichte lockere Lagerung.

3.5.7 Schädliche Bestandteile

Schädliche Bestandteile in Kiessanden sind Substanzen, die die spätere Verwendung als Zuschlagsstoff, Formsand oder frostsicheren Baustoff beeinträchtigen.

So kann beispielsweise durch zu hohen Feinanteil $< 63 \mu\text{m}$ die Festigkeit des Betons vermindert oder die Frostsicherheit infolge von humösen

- Vorhandensein von Vertaubungen wie Abraum, Schlickschichten, Tonlinsen, Verkippungen von Bauschutt,
- etwaige Baggerhindernisse bzw. Baggerbehinderungen wie stark verfestigte Horizonte (Nagelfluh), Findlinge, Steinfelder, Kampfmittel oder auch anthropogener Unrat.

Zur Bestimmung des Lagerstättenaufbaus kommen direkte Erkundungsmethoden wie Bohrungen oder Rammkernsondierungen sowie indirekte Erkundungsverfahren sowie eine Kombination beider Methoden zum Einsatz.

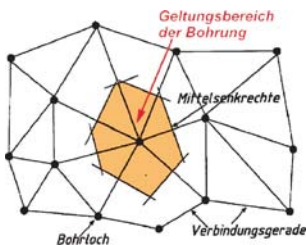


Abb. 3-24 Vorratsermittlung nach Polygonmethode nach Wellmer⁹⁰

Sollten nur Schichtenverzeichnisse von Bohrungen zur Ermittlung des Lagerstättenvorrates zur Verfügung stehen, kann dieser nach der sog. Polygonmethode ermittelt werden (Abb. 3-24). Dabei wird der durch die vorhandenen Bohrungen dokumentierte Bereich durch ein Polygon beschrieben, das aus den Mittelsenkrechten der zwei Bohrlöcher verbindenden Geraden gebildet wird. Bohrung wird als repräsentativ für den eingeschlossenen Bereich angenommen.

Um diese direkten Verfahren jedoch gezielt einsetzen bzw. deren Ergebnisse einordnen zu können und in die Fläche zu extrapolieren, ist es unerlässlich, vorab indirekte Verfahren einzusetzen, mittels derer eine flächendeckende Aussage möglich wird. Die Erfahrung zeigt, dass aus Gründen der maximalen Ausnutzung eine flächenhafte Erkundung, wie z.B. in der Ölexploration üblich auch bei Kies- und Sandlagerstätten, angestrebt werden sollte. Die Aufschlussdichte kann zunehmen, je gestörter die Lagerstätte ist.

Kostengünstiger als ein reines Bohrprogramm in notwendiger Bohrdichte ist bei flächenhaften Untersuchungen von Wasserflächen inzwischen eine Kombination aus einigen wenigen Bohrungen in Verbindung mit geophysikalischen Messverfahren wie Geoelektrik und Flachwasserseismik. Die an den Bohrungen kalibrierten geophysikalischen Untersuchungen, die eine indirekte Erkundung darstellen, erlauben, die Lagerstätte nicht nur punktuell wie bei Bohrungen, sondern längs Profilen bzw. Pseudo-

sektionen darzustellen und die jeweils anstehenden Schichtgrenzen z.B. von Abraum, Kies, Zwischenschicht, Liegendem und damit Mächtigkeit und Höhe zu ermitteln. Unabdingbar ist die Korrelation und Überprüfung der geophysikalischen Messdaten mit aussagekräftigen Schichtenverzeichnissen von mindestens einer zuverlässigen Bohrung. Quantitative Aussagen über die Zusammensetzung und Verwendbarkeit eines Kiesvorkommens sind jedoch nur anhand von Bohrungen und Probenuntersuchungen möglich. Solche Bohrungen können dann gezielt anhand der Ergebnisse der geophysikalischen Erkundung niedergebracht werden.

3.6.1 Direkte Erkundungsmethoden

Die direkten Erkundungsmethoden ⁹¹ liefern sowohl qualitative Informationen als auch quantitative Daten zur Erkundung und Beurteilung einer Lagerstätte und des darin enthaltenen Bodenschatzes. Die gebräuchlichsten direkten Erkundungsmethoden sind nachstehend beschrieben.

Einige dieser Methoden erlauben bereits im Feld die Durchführung von Untersuchungen geotechnischer Parameter. Die meisten erlauben darüber hinaus Proben zu nehmen, die später im Labor zu untersuchen sind.

Nach Auswahl des am besten geeigneten Erkundungsverfahrens müssen die Vorschriften für die Bodenansprache während des Bohrens (DIN 18196), die korrekte und repräsentative Probennahme sowie die entsprechende Behandlung und Verpackung der Proben bis zu deren Eintreffen im Labor beachtet werden.

Die Tabelle 3-14 zeigt das Beispiel eines Klassifikationssystems für die Güte von Proben ⁶⁶, geordnet nach deren Gestörtheit infolge Entnahme und bezogen auf die Aussagefähigkeit hinsichtlich geotechnischer Kennwerte.

Tabelle 3-14 Klassifikation des Gütegrades von Bodenproben

Klasse	Qualität der Bodenprobe	Eignung	Zweck
1	<i>Ungestört</i> Bestimmung von Scher- und Druckfestigkeit möglich	1 - 10	labormäßige Bestimmung der mechanischen Eigenschaften
2	<i>Leicht gestört</i> Geometrie zerstört, Bestimmung von Wassergehalt und Dichte möglich	1 – 7	labormäßige Bestimmung der physikalischen Eigenschaften
3	<i>Erheblich gestört</i> : Änderung der Dichte. Bestimmung von Granulometrie, Wassergehalt und Dichte möglich	1 – 4, 6	Untersuchung an im Labor wiederhergestellten Proben
4	<i>Gestört</i> : Schichtung kann aufgenommen werden, Bestimmung von Granulometrie, Wassergehalt und Dichte möglich	1 - 4, 6	Untersuchung an im Labor wiederhergestellten Proben
5	<i>Stark gestört</i> : Auch Kornverteilung kann nicht mehr bestimmt werden. Schichtung nur angenähert zu bestimmen		nur qualitative Aussage möglich
Eignungsschlüssel			
1. Bodenschichten		6. Water content	
2. Organische Anteile		7. Wichte	
3. Kornverteilung		8. Durchlässigkeit	
4. Konsistenzgrenzen		9. Druckfestigkeit	
5. Lagerungsdichte		10. Scherfestigkeit	

3.6.1.1 Van Veen Greifer

Einsatzgebiet: marin

Der Van-Veen-Greifer wird für die Beprobung der Gewässersohle eingesetzt (Abb. 3-25).

Mit diesem Greifer lassen sich nur geringe Eindringtiefen erreichen. Er wird manuell geführt. Aufgrund dieser Charakteristiken eignet sich diese Erkundungsmethode weniger für die Beurteilung einer Lagerstätte sondern vielmehr zur Beantwortung ökologischer Fragen nach vorhandenem Benthos oder chemischen Belastungen sowie sonstiger stofflicher Eigenschaften des Gewässersohlbereichs wie anthropogene Verunreinigungen, z.B. durch Bauschutt.



Abb. 3-25 Van-Veen-Greifer (Eingriffsfläche: l. 1.000 cm², r. 250 cm²)

3.6.1.2 Sondierungstange

Einsatzgebiet: terrestrisch

Die Sondierung ist die einfachste direkte Erkundungsmethode. Sie ist einfach durchzuführen und dient zunächst der Bestimmung der Mächtigkeit einzelner lockerer bis mitteldicht gelagerter Schichten. Dabei werden Voll- und Hohlgestänge in den Boden eingetrieben. In rolligen Sanden wird Druckwasser als Lösehilfe benutzt. Die Sondierung kann zu Lande und zu Wasser ausgeführt werden, in geringeren Wassertiefen manuell von einem Boot aus oder bei größeren Tiefen mit Hilfe eines Dreibockes von Bord eines verankerten Pontons aus.

Die preisgünstigen Rammsondierungen, die vor allem in ihrer Tiefe (zuverlässige Ergebnisse bis maximal 15 m) begrenzt sind, dürfen nicht mit Rammkernbohrungen verwechselt werden. Sie werden in verschiedenen Durchmessern (36 mm, 50 mm, 80 mm) angeboten. Für die aussagekräftige Erkundung von flachen, körnungsarmen Vorkommen sind Rammsondierungen sehr zu empfehlen. Auf die Verwendung von Kernfängern ist unbedingt zu achten.

3.6.1.3 Schneckenbohrung

Einsatzgebiet: terrestrisch

In Deutschland ist die Schneckenbohrung die immer noch am häufigsten zur Erkundung von Lockergesteinslagerstätten eingesetzte Erkundungsmethode (Abb. 3-26). Aus geologischer und lagerstättenkundlicher Sicht sind die Ergebnisse dieser Bohrungen jedoch kritisch zu betrachten. Zum einen ist die Schichtgrenzenbestimmung sehr ungenau und weist Abweichungen

von mehreren Dezimetern auf. Schichtansprache anhand des ausgetragenen Materials und mangelnde Tiefenpositionierung sind weitere Fehlerquellen auch schon für oberhalb des Grundwasserspiegels anstehende Böden. Selbst sehr erfahrene Bohrmeister sind bei Schneckenbohrungen in der Aussagefähigkeit ihrer Ansprachen und der Qualität der Probenahme eingeschränkt. Dies führt immer wieder zu qualitativen und quantitativen Fehlern bei der Vorratsberechnung und Einschätzung der Materialqualität.



Abb. 3-26 Schneckenbohrung

Die Schneckenbohrung eignet sich im Rahmen der Vorerkundung, da sie schnell und kostengünstig auszuführen ist.

3.6.1.4 Spülbohrung

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Spülbohrungen können entweder unter Einsatz von Wasser oder Luft als Austragsmittel des Bohrkleins angewandt werden.

Die Spülbohrung unter Verwendung von Wasser, auch Waschbohrung genannt, ist eine häufig angewandte Erkundungsmethode, die sich wegen des vergleichsweise geringen Aufwands, der schnellen Durchführungsmöglichkeit und der vergleichsweise geringen Kosten besonders zur Vorerkundung eignet. Dabei wird die Drehbohrung durch Zugabe von Wasser unterstützt.

Der Umfang der möglichen Feld- und Laboruntersuchungen entspricht im Prinzip dem der Rammkernbohrungen. Allerdings muss beachtet werden, dass der Bohrfortschritt durch die Verwendung von Druckwasser erfolgt. Dabei kann die übertägig aus dem Spülgut gewonnene Probe falschen Teufen zugeordnet werden oder es können bei größeren Bohrtiefen Entmischungen des Spülgutes eintreten, so dass das ausgetragene Spülgut nicht repräsentativ ist.

Zum etwa gleichen Preis wie Spülbohrungen sind Bohrungen im sog. Lufthebeverfahren erhältlich. Unter bestimmten Voraussetzungen ist mit diesem Verfahren die Bestimmung von dm-mächtigen Schichten mit bis zu 0,5m Tiefengenauigkeit möglich. Eine Probennahme für weitere Untersuchungen ist durch Korngrößenverfälschung des ausgetragenen Materials jedoch nicht empfehlenswert. Bei der Erkundung von Kiessandlagerstätten wird das Lufthebeverfahren selten eingesetzt. Ihr ausschließlicher Einsatz bei der Erschließung von Kiesvorkommen ist ebenfalls abzulehnen.

3.6.1.5 Rammkernbohrung

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Bei der Rammkernbohrung handelt es sich um eine effektive und sehr häufig angewandte Erkundungsmethode für Böden und leichten Fels (Abb.3-27).

Das verrohrte Bohrloch wird durch wiederholtes fallen lassen einer manchmal mit Meißeln bestückten und an einem über einen Dreibock geführten Seil mit einer Winde verbundenen Schappe in geringen Abständen von ca. 1m vorangetrieben. Die Verrohrung dient dazu, das Einbrechen des Bohrloches zu verhindern. Die Verrohrung hat Durchmesser von 150 – 300 mm. Übliche Rohrtourdurchmesser sind 267 mm für die oberste Tour, 219 mm für die mittlere und 167 mm für die untere. Erreichbare Tiefen liegen bei 100m u. GOK.



Abb.3-27 Rammkernbohrung mit Kiesbüchse

Die bei dieser Methode gewonnenen Bodenproben sind für einen weiten Bereich von Feld- und Laboruntersuchungen geeignet, wenn das Bohrgut ordnungsgemäß in Kernkästen (Abb. 3-28) abgelegt ist.. Es können darüber hinaus weitere Erkundungsdaten durch Anwendung von ergänzenden Erkundungsmethoden wie Standard Penetration Tests oder Flügelsondenscherversuchen von der Bohrlochsohle aus entsprechend dem Bohrfortschritt ausgeführt werden.



Abb. 3-28 Beispiel von in Kernkästen (1 m) abgelegtem Bohrgut

3.6.1.6 *Standard Penetration Test (SPT)*

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Der SPT ist sehr verbreitet als Erkundungsmethode zur Beschreibung insbesondere der Lagerungsdichte und wird in Verbindung mit Spül- oder Rammkernbohrungen von der jeweiligen Bohrlochsohle aus ausgeführt. Der SPT-Sampler ist in Abb. 3-29 dargestellt. Mit einem besonderen Probenehmer können auch Bodenproben aus rolligen, bindigen und Weichge-

stein zwecks Analyse im Labor genommen werden. Im Weichgestein wird die SPT-Untersuchung nach jeder Kerntour ausgeführt.

In der Nassbaggerei ist die Anwendung dieses Bestimmungsverfahrens, das von der American Society of Testing Materials entwickelt wurde, ein sehr gebräuchliches Verfahren. Als Ergebnis des Tests wird die Anzahl Schläge gewertet, die ein Gewicht von 63,5 kg, das aus 0,76 m Höhe fällt, benötigt um den Probenehmer 30 cm in den Boden einzutreiben (Tabelle 3-15).

Tabelle 3-15 Dichte resp. Konsistenz anhand von SPT-Werten

Anzahl Schläge SPT			
Rollige Böden		Bindige Böden	
N_{30}	Dichte	n_{30}	Konsistenz
0 - 4	Sehr locker	0 - 2	Sehr breiig
4 - 10	Locker	2 - 4	Breiig
10 - 30	Mitteldicht	4 - 8	Mittelsteif
30 - 50	Dicht	8 - 15	Steif
> 50	Sehr dicht	15 - 30	Sehr steif
		> 30	Fest



Abb. 3-29 SPT-Sampler

3.6.1.7 Flügelsondierung

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Die Messergebnisse von Flügelsondierungen⁹² dienen der Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden (Abb. 3-30). Dabei wird der Scherparameter des undrainierten Bodens c_u bestimmt. Flügelsondierungen sind anzuwenden in Böden, von denen angenommen werden kann, dass der Boden als

reibungsfrei gelten kann. Das Verfahren ist deshalb beschränkt auf erstbelastete, wassergesättigte Böden von weicher bis steifer Konsistenz. Besonders geeignet ist die Methode dort, wo keine repräsentativen Proben entnommen werden können. In plastischen Böden, organischen Tonen und Torfen muss die mit der Flügelsonde ermittelte Scherfestigkeit abgemindert werden, und zwar bei einem $I_p = 50\%$ um ca. 20 % und bei $I_p = 100\%$ um 40 %.

Mit der Messung wird der Widerstand des Bodens beim Abscheren längs eines zylindrischen Körpers mit den Abmessungen $H_{\text{Zylinder}} = 2 D_{\text{Zylinder}}$ mit $D = 50$ oder 75 mm festgestellt (DIN 4096). Die Messung kann von der Rasen- als auch Bohrlochsohle aus durchgeführt werden. Im Falle der Messung von der Bohrlochsohle sollte die Sonde in einem Mantelrohr niedergebracht werden, um etwaige Mantelreibung des Gestänges auszuschalten.

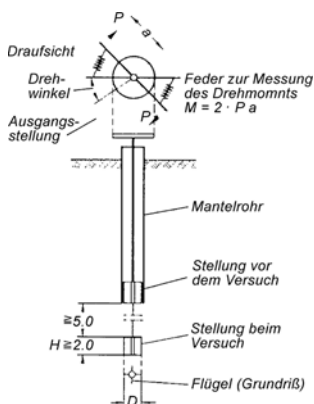


Abb. 3-30 Prinzipskizze Flügelsondierung

Die mittlere Scherfestigkeit wird errechnet nach Messen des maximalen Momentes beim langsamen Abscheren, das frühestens nach 3 min. erreicht sein sollte. Die Schergeschwindigkeit beträgt $0,1 - 0,5$ °/s.

$$c_u = \frac{6M}{7\pi} D^3 \quad (3-22)$$

$$M = 2P a \quad (3-23)$$

mit

c_u Scherfestigkeit

M	Moment
P	Federkraft
D	Durchmesser Zylinder
a	Radius, Zylinder.

3.6.1.8 Greiferbohrung

Einsatzgebiet: terrestrisch

Verrohrte Greiferbohrungen sollten zur Untersuchung von Lagerstätten mit größeren Steinen sowie Blöcken genutzt werden. Hierbei wird bei nachgezogener Verrohrung das Material mit einem Greifer geborgen, an die Oberfläche befördert und kann dann dort beprobt werden. Typische Durchmesser der Rohre bei Greiferbohrungen liegen zwischen 400 mm und 800 mm.

3.6.1.9 Drehbohrung

Einsatzgebiet: terrestrisch

Drehbohrungen mit Kerngewinnung werden zur Erkundung von Fels und steifen bis festen bindigen Böden eingesetzt. Dabei kommt ein hohles Kerngestänge zum Einsatz, um einen zylindrischen Kern für die weiteren Laboruntersuchungen zu gewinnen. Obwohl durchgehende Kerngewinnung mit einem RQ-Wert (recovery quotient value) von 100 % selten ist, kann anhand der Kerne die Lagerstätte am umfangreichsten beschrieben werden. Kerndrehbohrungen müssen von einer festen Basis aus ausgeführt werden.

Die Verwendung eines Rollenmeißels eignet sich für die Beurteilung einer Kiessandlagerstätte weniger, da das Bohrgut zu sehr aufgearbeitet wird. Leicht werden insbesondere in verfestigten, z.B. karbonatisierten Vorkommen, gewinnbare Kiese angesprochen, die später nur mit großem Aufwand und erheblich reduzierter Leistung gelöst werden können.



Abb. 3-31 Schwimmendes Drehbohrgerät für unverrohrte Probenahme mit Schappe

Das vorstehende Bild stellt ein spezielles Drehbohrverfahren dar, das leicht mobilisierbar auf Baggerseen zur Beprobung von Restlagerstätten bis in Teufen von 5 m unter Gewässersohle zum Einsatz kommt.

3.6.1.10 Vibrationsbohrung

Einsatzgebiet: marin

Vibrationsbohrungen (Vibrocorer) sind schnell durchführbare und effiziente Erkundungsmethoden insbesondere bei Untersuchungen vom Wasser aus und sind für locker gelagerte Böden geeignet.

Ein zwei bis sechs Meter, in besonderen Anwendungsfällen auch bis zu 12 m langes Rohr wird mittels Vibration in den Untergrund vorgetrieben (Abb. 3-32). Dabei wird das seilgeführte Bohrgerät auf die Gewässersohle gestellt. Die gewonnenen Proben (Abb. 3-33) sind durch die Vibration gestört, können jedoch weitestgehend als repräsentativ für den erkundeten Boden eingeschätzt werden.

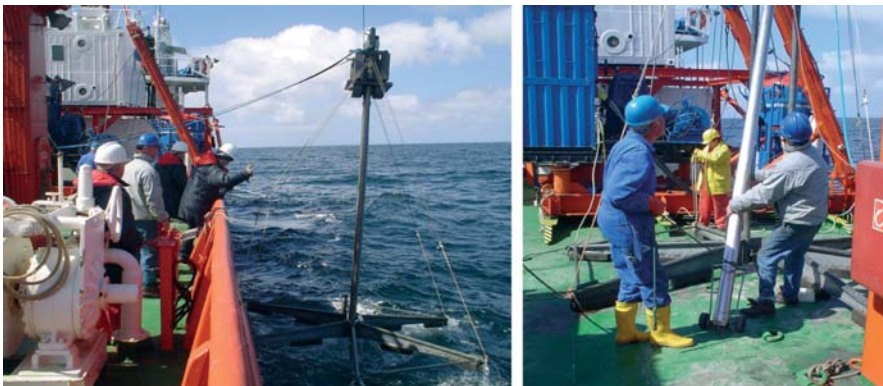


Abb. 3-32 Einsatz eines Vibrocorers



Abb. 3-33 Vibrocorer Probe in einem geöffneten Schlauch

Das Vibrationsprinzip basiert auf der Methode, Schwingungen mit einer hohen Frequenz und geringer Amplitude in den Untergrund einzutragen. Die Vibrationsenergie verflüssigt den Boden und erlaubt damit dem mit einem Kernfänger ausgestatteten Probenahmerohr, in den Untergrund einzudringen.

3.6.1.11 Drucksondierung

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Bei der Durchführung von Drucksondierungen (Cone Penetration Test (CPT)) wird mittels genormter Spitze und Gestänge bei einer Eintriebsgeschwindigkeit von ca. 1 m/min der Spitzendruck q_s gemessen sowie die Mantelreibung f_s . Dabei wird mit Standardgeräten eine Eindringtiefe von ca. 25 m erreicht. Für die Überwindung von Eindringwiderstand und Mantelreibung können Kräfte von 100 kN anfallen, die als Totlast oder durch Zuganker aufgebracht werden muss. Drucksondierungen gehören formell zu den indirekten Verfahren, da durch Messung einer physikalischen Größe (hier Spitzendruck) indirekt Aussagen über eine andere (hier Materialdichte) möglich sind.

Die Aufnahme des Spitzendruckes erfolgt durch einen elektrischen Geber, die Messdaten werden i. d. R. kontinuierlich registriert. Bei rolligen Böden und Kenntnis von deren Kornverteilung können die Lagerungsverhältnisse aus dem Spitzendruck abgeleitet werden. Änderungen der Lagerungsdichte oder Schichtwechsel können aus dem Messschrieb abgelesen werden. Dabei nimmt der Spitzendruck bis zu einer sog. Grenztiefe mit zunehmender Eindringtiefe unterlinear zu.

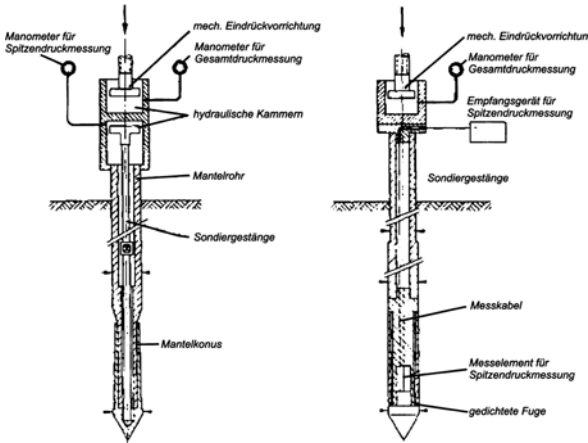


Abb. 3-34 Drucksondierungsgerät (l. Dutch CPT, r. DeGeBo Penetrometer ⁹²⁾)

Der Zusammenhang zwischen Spitzendruck q_s und Lagerungsdichte D ist in Gl. 3-24 aufgeführt. Dabei handelt es sich um gleichförmige Sande mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $U < 2,2$. Die Regression zwischen Spitzendruck q_s und Lagerungsdichte D ist gegeben durch die Gleichung

$$D = -0,839 + 0,263 \ln q_s \quad (3-24)$$

Vom Spitzendruck q_s kann direkt auf die Tragfähigkeit von Sanden geschlossen werden sowie auf die Festigkeit des Bodens, ausgedrückt durch dessen Winkel der inneren Reibung φ . Die Regression zwischen Spitzendruck q_s und Reibungswinkel φ ist durch nachfolgende Gleichung gegeben (Gleichung gültig für $U \sim < 6$):

$$q_s = 0,75 e^{0,526 \tan \varphi} \quad (3-25)$$

Die Kenntnis der Kornverteilung für die Beurteilung der Lagerungsdichte aus Drucksondierungen ist unbedingt notwendig. Bei nicht gleichförmigen Kiessandgemischen, z.B. mit einem Ungleichförmigkeitsgrad von $U > 3,7$ bis 16,5, ist die Lagerungsdichte geringer und die Regression zwischen D und q_s durch folgende Gleichung gegeben:

$$D = -0,074 + 0,144 q_s \quad (3-26)$$

Das Antreffen von Grundwasser unterhalb der Grenztiefe (ca. $< 2,5$ m u. OK) muss nicht unbedingt zu einer Abminderung des Spitzendruckes führen. Bei bindigen Böden ist eine zuverlässige Aussage nur bei großen

Konsistenzänderungen möglich. Wegen der Plastizität des Materials ist der Spitzendruck abgemindert und Spitzendruckwerte von 15 bar kennzeichnen bereits eine steife bis sehr steife Konsistenz.

Auf die von der Sondierspitze durchörterte Bodenart kann geschlossen werden, wenn der Spitzendruck q_s ins Verhältnis zur Mantelreibung f_s gesetzt wird (Abb. 3-35). Dabei wird das Reibungsverhältnis R_f ermittelt, das im Verhältnis zur Bodenart steht.

$$R_f = \frac{f_s}{q_s} \quad (3-27)$$

Die Korrelation zwischen Spitzendruck q_s und der Lagerungsdichte D in gleichförmigen rolligen Böden mit einer Mächtigkeit von 1,5 – 2,5 m ist in Tabelle 3-16 aufgeführt.

Tabelle 3-16 Korrelation zwischen Spitzendruck q_s and Lagerungsdichte D in rolligen Böden ⁹²

q_s	Lagerungsdichte D	Beschreibung
< 25	< 0,15	Sehr locker
25 – 75	0,15 - 0,30	Locker
75 – 150	0,30 - 0,50	Mitteldicht
150 – 250	0,55 - 0,65	Dicht
> 250	> 0,65	sehr dicht

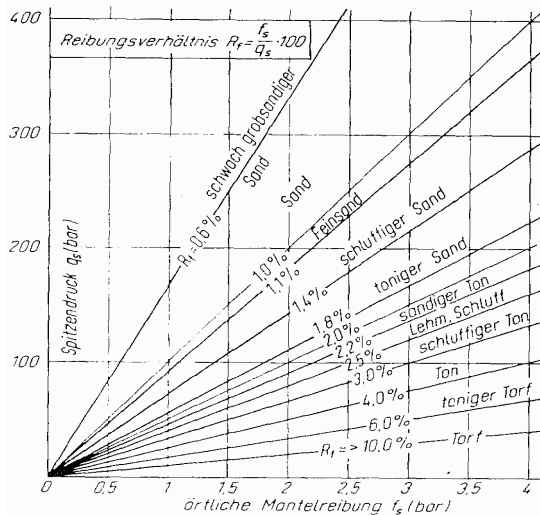


Abb. 3-35 Abhängigkeit von Mantelreibung und Spitzendruck nach FUGRO ⁹²

3.6.1.12 *Schwerkraftbohrer*

Einsatzgebiet: marin

Am oberen Ende des seilgeführten Schwerkraftbohrers, auch Schwerelot genannt, befindet sich ein bis zu 3 t schweres Gewichtsstück, das das Probenahmerohr von ca. 5 m Länge und einem inneren Durchmesser von 130 mm durch Eigengewicht in den Boden drückt.



Abb. 3-36 Schwerkraftbohrer

Im Rohr befindet sich bei Gewinnung eines Kerns in locker gelagerten Böden i.d.R. ein Schlauch oder ein PVC-Rohr. Mit dieser Methode können weiche Böden bis ca. 25 m Tiefe erkundet werden. Eine perforierte Bodenplatte an den Stützbeinen hindert das Rohr an ungewolltem Eindringen in die Gewässersohle.

3.6.1.13 *Piston Corer*

Einsatzgebiet: marin

Der Piston Corer nimmt 2 m mächtige ungestörte Proben aus locker gelagertem Sediment bzw. bis zu 4 m lange Proben aus Weichsedimenten. Die Eindringtiefe kann durch die Zahl der eingesetzten Gewichte über dem Probenahmerohr reguliert werden.

Ein Auslöser nach dem Kullenberg Prinzip löst den freien Fall des Probenahmerohres aus, sobald der Auslöser die Gewässersohle erreicht hat. Die Öffnung des Probenahmerohres befindet sich dann 1,7 m über der Gewässersohle.

3.6.1.14 Schürfgruben, Probegabberung

Einsatzgebiet: terrestrisch und marin

Schürfgruben oder Probegabberungen eignen sich für die Beurteilung der Lagerstätte in größerem Stil.

Allerdings ist dafür zumindest bei Probegabberungen i.d.R. eine Genehmigung mit entsprechendem vorausseilendem Untersuchungsumfang hinsichtlich der Umweltverträglichkeit durchzuführen.

3.6.2 Indirekte Erkundungsmethoden

Unter indirekten Erkundungsmethoden werden geophysikalische Messmethoden verstanden. Die angewandte Geophysik beschäftigt sich mit dem Auffinden verborgener, nutzbarer Lagerstätten mit Hilfe physikalischer Messverfahren, die durch Messung an der Erdoberfläche, im Wasser oder im Bohrloch den Aufbau der Lagerstätte ermitteln⁹³.

Dabei werden ein oder mehrere physikalische Parameter bestimmt, wie

- Materialdichte,
- Schallausbreitungsgeschwindigkeit,
- elektrische Leitfähigkeit,
- Magnetisierbarkeit und
- kernphysikalische Messgrößen.

Nach unbedingt notwendigen Kalibrierungen an direkten Aufschlüssen lassen sich die physikalischen Parameter unterschiedlichen Bodenarten zuordnen.

Der Vorteil der indirekten Erkundungsverfahren liegt in der wesentlich höheren Datendichte und der Möglichkeit von dreidimensionalen Darstellungen.

Im Umfeld der Nassgewinnung kommen vornehmlich einige ausgewählte Verfahren zum Einsatz. Diese lassen sich gem. Tabelle 3-17 in drei Klassen einteilen:

- akustische,
- elektrische sowie
- radioaktive Verfahren,

wobei die Bohrloch-Geophysik wiederum eine eigene Unterabteilung mit sämtlichen gängigen Verfahren bildet⁹⁴.

Tabelle 3-17 Gängige geophysikalische Verfahren im Bereich der Nassgewinnung

Klasse	Methode	Ziel der Erkundung
Akustisch (im Nassen eingesetzt)	Vertikallot-Peilung (1- bzw. 2-Frequenz)	Lage der Gewässersohle entlang von Profilen, Ermittlung der Schlickauflage
	Side Scan Sonar	flächenhafte Morphologie der Gewässersohle, Identifizierung von Strukturen direkt an der Gewässersohle wie Baggerhindernisse, Untiefen u.ä.
	Fächerlot-Peilung bzw. Flächenecholot-Peilung	flächendeckende Morphologie der Gewässersohle, lagemäßige Identifizierung von Strukturen direkt an der Gewässersohle wie Baggerhindernisse, Untiefen u.ä.
	Sub-Bottom-Profiler	Erkundung des Schichtaufbaus des Untergrundes, Identifizierung von Strukturen wie Findlingen, Steinfeldern u.ä.
Elektrisch (im Nassen und Trocknen eingesetzt)	Gleichstrom-Verfahren (Multipol-Sektionen)	Schichtaufbau des Untergrundes mit Unterscheidung bindig/rollig
	Wechselstrom-Verfahren (Georadar)	Schichtaufbau der ersten Meter unterhalb der GOK / Gewässersohle, insbesondere Unterscheidung bindig /rollig
	Wechselstrom-Verfahren (Magnetik)	Identifizierung von metallischen Körpern wie Kampfmitteln im Untergrund in Bezug auf Lage und Tiefe
akustisch, elektrisch, radioaktiv	Bohrlochverfahren (divers)	Bestimmung von in situ Parametern wie Dichte, Wassergehalt, Materialqualität u.ä.

Einige Verfahren sind im Wasser und an Land einsetzbar, andere Verfahren wie die aufgelisteten akustischen Verfahren gem. Tabelle 3-17 sind nur für Messungen im Wasser konzipiert. Es gibt zwar auch die Möglichkeit, akustische Verfahren wie Hammerschlag-Seismik o. ä. an Land einzusetzen, aufgrund der hohen Kosten geschieht dies jedoch bei der Gewinnung von Kies und Sand nur sehr selten.

Die Wahl des richtigen Verfahrens hängt ganz entscheidend von der jeweils zu erwartenden Geologie sowie der aktuellen Fragestellung ab. Auf jeden Fall gibt es kein „Königsverfahren“, mit dem man sämtliche lagerstättenkundlichen Probleme beantworten könnte. Häufig müssen sogar Kombinationen mehrerer Methoden eingesetzt werden. Zudem spielt immer wieder die erwartete Messgenauigkeit und die wirtschaftliche Situation des Kieswerkes eine entscheidende Rolle. So kann ein Baggersee beispielsweise mit einem Vertikallot (s. u.) entlang von Profilen vermessen werden. Eine wesentlich genauere Vermessung liefert jedoch das Fächerlot

(s.u.), mit dem eine flächendeckende Aufnahme des Sohl- und Böschungsbereiches möglich ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Verfahren beschrieben und deren Einsatzmöglichkeiten anhand von Beispielen erläutert.

3.6.2.1 Akustische Verfahren

Sämtlichen nachfolgend beschriebenen akustischen Verfahren liegt dasselbe Messprinzip zugrunde. Es wird am oder nahe unter dem Wasserspiegel in einem Sender ein akustischer Impuls erzeugt und gerichtet nach unten abgestrahlt. Diese sog. seismische Welle wird an Flächen, an denen Änderungen der seismischen Impedanz auftreten, reflektiert. Unter der seismischen Impedanz I versteht man das Produkt aus der Dichte ρ des betreffenden Materials und der Geschwindigkeit v einer sich darin ausbreitenden Welle.

$$I = \rho v \quad (3-28)$$

Die reflektierten Wellen werden beim Wiederauftreffen auf den Empfänger registriert. Aus den gemessenen Laufzeiten t für die Strecke Sender-Reflektor-Empfänger kann mit Wissen der Ausbreitungsgeschwindigkeit v im Medium die Entfernung s zwischen Sender und Reflektor bestimmt werden.

$$s = \frac{v t}{2} \quad (3-29)$$

Als Reflektor kommen sehr unterschiedliche Strukturen in Frage. Dies reicht von einer Temperaturschichtung oder Fischschwärmen in der Wassersäule bis hin zu Schichtgrenzen im tieferen Untergrund. Die Eindringtiefe einer seismischen Welle hängt neben der Abstrahlenergie im Wesentlichen von der Abstrahlfrequenz ab. Dabei gilt die Faustregel: Je geringer die Frequenz desto größer die Eindringtiefe. Im Umkehrschluss bedeutet dieser Zusammenhang, dass in größerer Teufe verfahrensbedingt keine hochauflösenden Messungen möglich sind.

Gängige Abstrahlfrequenzen befinden sich im Bereich von 1 kHz bis zu 700 kHz. Teilweise werden mehrere Frequenzen kombiniert (s.u.).

Vertikallot

Das Vertikallot wird üblicherweise als Echolot bezeichnet. Um es von anderen, nachfolgend vorgestellten Systemen zu unterscheiden, wird der Fachausdruck Vertikallot gewählt. Hierbei handelt es sich i.d.R. um ein System mit Schallsender und Schallempfänger innerhalb eines Gehäuses. Abb. 3-37 links stellt das Prinzip dar. Das Lot schallt vom Messschiff aus

senkrecht nach unten. Die Erkundungsdichte hängt von dem Profilabstand ab.

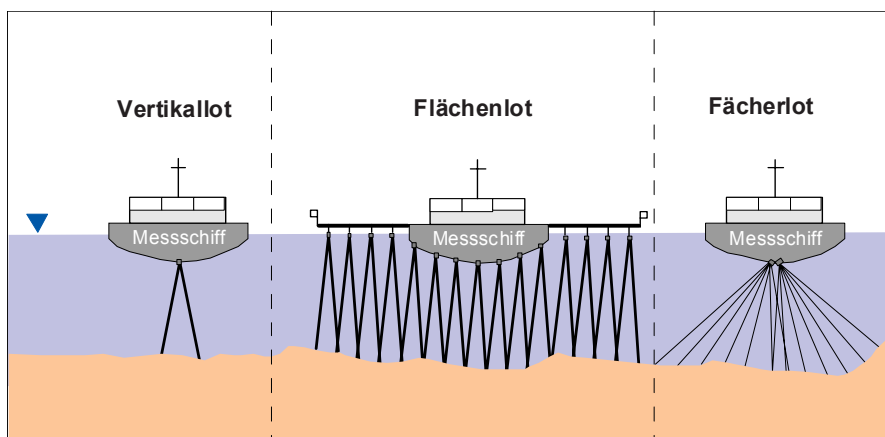


Abb. 3-37 Prinzipien unterschiedlicher Echolot-Systeme

Häufig kommen 2-Frequenz-Lote zum Einsatz. Hierbei befinden sich innerhalb des Schwingers zwei unterschiedliche Sender und Empfänger mit Frequenzen zwischen 10 und 60 kHz bzw. zwischen 100 und 300 kHz. Diese Konfiguration erlaubt die Realisierung von zwei unterschiedlichen Eindringtiefen. Es wird davon ausgegangen, dass die hohe Frequenz an der Oberkante Weichablagerungen (Suspensionen, Schluffschichten), die tiefe Frequenz an der Oberkante einer festen Schicht, ggf. die Kiessandschicht, reflektiert wird. Eine Reihe von Untersuchungen in Weichsedimenten zeigte jedoch, dass dieser Zusammenhang so nicht immer zutrifft, da die Schichtgrenzen von sehr vielen unterschiedlichen Faktoren wie Mächtigkeit Schlick, Ablagerungszeitraum und Salzgehalt abhängen.

Abb. 3-38 stellt den Messschrieb eines Vertikallotes (Peilfrequenz: 38 kHz) aus einem schwedischen Fjord dar. Neben dessen Basis, bestehend aus Granit, erkennt man deutlich eine Schlickauflage sowie den dort anstehenden Pflanzenbewuchs.

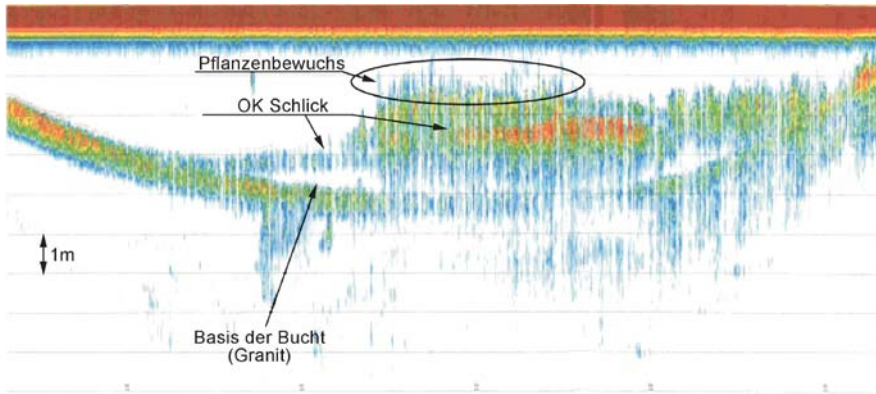


Abb. 3-38 Schrieb eines Vertikallotes Flächenlot

Fächerlot

Eine Modifizierung des Vertikallotes stellen die sog. Flächenlote (Abb. 3-37, Mitte) dar. Hierbei wird eine Reihe von Vertikalloten (teilw. bis zu 50 Stk.) nebeneinander an zwei Auslegern angeordnet und gemeinsam betrieben. Der große Vorteil dieser Methodik liegt darin, mit nur einem Fahrtprofil eine Vielzahl von Echolotprofilen zu messen. Außerdem funktioniert dieses System gegenüber dem Fächerlot (s. u.) auch in flachen Gewässern.

Fächerlote dienen der flächendeckenden Kartierung der Morphologie der Gewässersohle. Der unter dem Schiff angebrachte Schallwandler -manchmal sind es auch zwei zueinander gewinkelt stehende Wandler (Abb. 3-37 rechts) - sendet keinen senkrecht nach unten gerichteten Strahl wie bei einem Vertikallot sondern eine große Anzahl voneinander unabhängige Einzelstrahlen, sog. beams, aus. Dies führt zu einer flächenhaften referenzierten Abtastung der Gewässersohle. Mit dem Fächerlot ist man bei Bedarf in der Lage, die Gewässersohle in Bezug auf Lage und Höhe im Zentimeterraster zu vermessen und beispielsweise Steine > 30cm (Blöcke) an der Gewässersohle darzustellen.

Abb. 3-39 zeigt beispielhaft einen Schallwandler einer modernen RESON-Aparatur.



Abb. 3-39 Unterschiedliche Schallwandler vor Montage

Die maximale Überdeckungsbreite hängt von der Wassertiefe ab und beträgt je nach Anzahl der Schallwandler das ca. 3-6-fache der Wassertiefe.

Da für Fächerlotvermessungen die Bewegung des Schiffes in Bezug auf Hub, Stampf und Roll jederzeit exakt bekannt sein muss, wird ein erheblicher Aufwand an zusätzlicher Messtechnik bei Durchführung solcher Messungen erforderlich (GPS-Systeme, Kurs- und Bewegungssensoren, Wasserschallsonde). Zudem ist eine regelmäßige Kalibrierung des gesamten Systems im Messgebiet erforderlich.

Fächerlotvermessungen sind aufwendig und teuer und lohnen nur bei ausreichender Flächengröße und größeren Wassertiefen, z.B. zur Beurteilung des Vorkommens schützenswerter Hartsubstratbildungen sowie von bewachsenen Blöcken (Abb. 3-40).

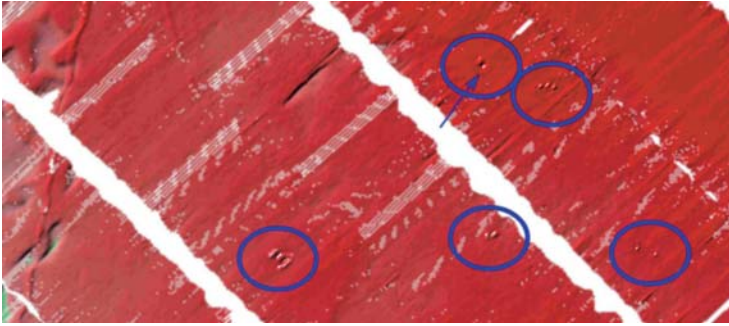


Abb. 3-40 Mittels Fächerlot vermessene Gewässersohle mit Anhäufung von Blöcken

Side Scan Sonar

Das Seitensichtgerät (Side Scan Sonar (SSS)) stellt sowohl verfahrenstechnisch als auch wirtschaftlich einen Kompromiss zwischen Vertikallot und Fächerlot dar. Während das Vertikallot den Schallimpuls in eng gebündelter Form senkrecht nach unten aussendet, wird beim Side Scan Sonar der Schallimpuls in Form einer flachen, vertikalen Scheibe seitwärts ausgesandt.

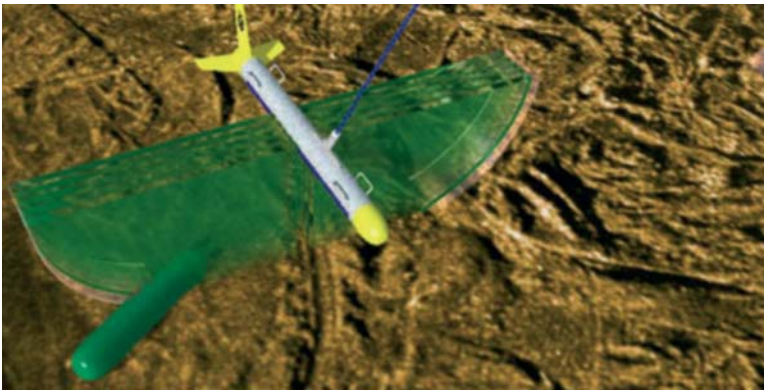


Abb. 3-41 Prinzip des Side Scan Sonars ⁹⁵

Seitlich des Bootes bzw. auf einem in unterschiedlichen Tiefen geschleppten sog. Fisch kann somit ein großer Bereich des Gewässergrundes flächenhaft auf Unregelmäßigkeiten in einer einzelnen Peilfahrt untersucht werden. Das Absenken eines Fisches in die Nähe der Gewässersohle ermöglicht zudem die hochauflösende Erkundung der Gewässersohle auch bei größeren Wassertiefen. Diese Messungen sind i.d.R. lediglich qualitativ, da keine Referenzierung der Seitenechos erfolgt. Dafür ist dieses Verfahren wesentlich preisgünstiger als eine Fächerlotvermessung. Gerä-

tehersteller arbeiten z.Zt. zunehmend an der Referenzierung der Side Scan Sonar Daten.

Abb. 3-42 stellt ein mittels Side Scan Sonar erkundetes Steinfeld in der Elbe dar. Durch die Art der Schattierung ist es möglich, aus der Gewässer-
sohle heraus ragende Körper von Mulden oder Löchern zu unterscheiden.

Der Vergleich der Ergebnisse der Vermessung mittels Fächerecholot und SSS zeigt die weitaus höhere Lage- und vor allem Höhengenaugigkeit erkannter Objekte bei Einsatz des Fächerlotes.

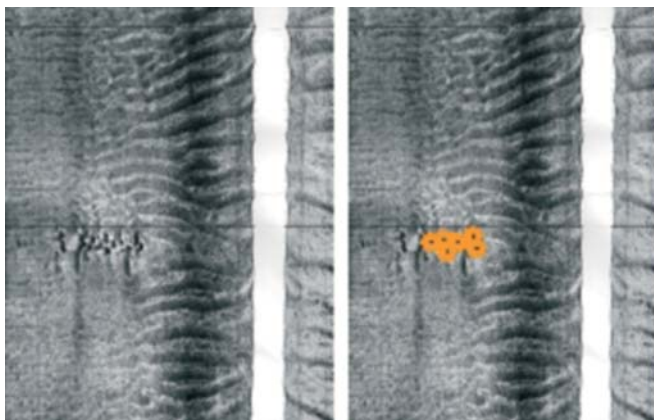


Abb. 3-42 Messschrieb einer Side-Scan-Sonar-Erkundung mit identifiziertem Steinfeld (orange) als Erschwernis für die Baggerung

Sedimentecholote

Bei den bislang dargestellten akustischen Messverfahren handelt es sich um Messungen, die allenfalls in geringmächtige weiche Sekundärablagerung nahe der Gewässersohle durchdringen können.

Nachfolgend werden sog. Sedimentecholote ⁹⁶, auch Sub-Bottom-Profiler genannt, vorgestellt, die aufgrund ihrer höheren Abstrahlenergie und niedrigeren Abstrahlfrequenz in der Lage sind, in gewachsene Böden einzudringen. Die Systeme sind mobil, können auf relativ kleinen Messschiffen betrieben werden und sind zu einem Standardverfahren in der Kies- und Sandexploration geworden. Sie können schnell und kostengünstig große Wasserflächen erkunden und Schichtgrenzen identifizieren, die dann über Bohrerergebnisse kalibriert werden können.

Seismische Lagerstättenerkundungen nutzen unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Materialien, wie zum Beispiel:

- Sandstein 800 - 4500 m/s,
- Sand 300 - 1500 m/s,
- Mergel 800 - 1800 m/s,

- Ton 300 - 3000 m/s.

Parametrisches Sedimentecholot

Zur Bestimmung des Untergrundaufbaus im Bereich von Lockergesteinslagerstätten bis in Tiefen von max. 10 m unter Gewässersohle kann ein sog. parametrisches Lot eingesetzt werden.

Die parametrische Akustik nutzt den sog. parametrischen Effekt aus. Dabei werden die nichtlinearen Übertragungseigenschaften bei der Ausbreitung von Schallwellen ausgenutzt. Sendet man zwei Schallwellen mit unterschiedlichen Sendefrequenzen (hier: 110 kHz und 8 kHz) mit hohen Schalldrücken in dieselbe Richtung, so treten sie in Wechselwirkung miteinander und es entsteht u.a. als Sekundärfrequenz die Differenzfrequenz beider Primärfrequenzen. Dieser Effekt beruht darauf, dass Wasser unter gerichteten hohen Schalldrücken kompressibel wird.

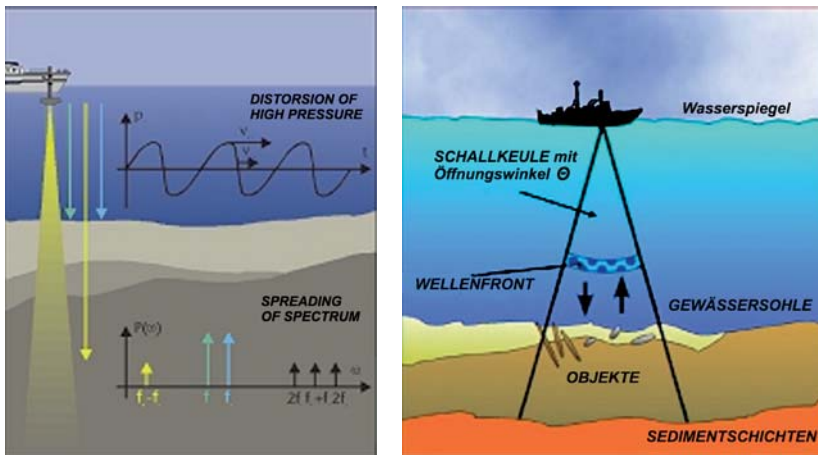


Abb. 3-43 Messprinzip parametrisches Echolot ⁹⁷

Das niederfrequente Schallsignal dringt in den Boden ein und liefert Informationen über den Schichtenverlauf oder vorhandene Einzelreflektoren unterhalb der Gewässersohle. Die Wahl der Sekundärfrequenz ist abhängig von der Aufgabenstellung. Eine niedrige Sekundärfrequenz erlaubt eine höhere Eindringtiefe in den Boden und eine höhere Sekundärfrequenz liefert bessere Ergebnisse bezüglich der Auflösung.

Aufgrund der geringen Abmessungen des Schallwandlers, der nur wenig größer als ein Vertikallot-Schwinger ist, eignet sich dieses Verfahren hervorragend für Untergrunderkundungen in Baggerseen.

Abb. 3-44 zeigt den interpretierten Messschrieb aus einem Baggersee am Niederrhein. Neben der Gewässersohle erkennt man deutlich die im

See starken Schwankungen unterworfenen Kiessandbasis in einer Tiefe von ca. 3-5 m.

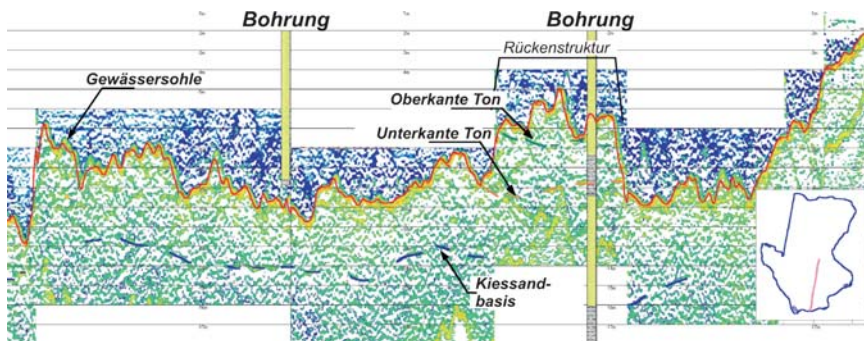


Abb. 3-44 Ergebnisse einer Erkundung mit parametrischem Echolot und deren Interpretation

Der Vorteil dieser Methodik liegt in der relativ einfachen Messausführung und für die Kies- und Sandindustrie eindeutigen Aussagen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die Nichtdurchdringung von mächtigeren Ton und/oder verhärteten Lagen, was grundsätzlich für alle vorgestellten akustischen Verfahren gilt.

Besonders auffällig sind hier zwei Bereiche mit Schattierungen nahe der Gewässersohle. Hierbei handelt es sich um einen Effekt, der durch Gasanreicherungen in Sedimenten hervorgerufen wird. Diese verursachen aufgrund der ausgeprägten Impedanz an der Grenzfläche starke Streuung und Dämpfung der akustischen Signale und führen i.d.R. zu Zonen der Totalreflexion. Das heißt, es werden keine Informationen unterhalb der Gasanreicherung registriert.

Der Trend bei parametrischen Loten geht dahin, diese ähnlich Fächerloten für eine flächenhafte Abtastung des Untergrundes einzusetzen. Dies erfordert jedoch einen enormen messtechnischen Aufwand und hohe Rechnerleistungen.

Chirp-Sonar

Ein weiteres Sedimentecholot ist das sog. Chirp-Sonar (Abb. 3-45). Im Unterschied zum parametrischen Lot befinden sich bei diesem Gerät Schallsender und Schallempfänger sowie ein Teil der Elektronik in einem geschleppten Geräteträger (tow fish). Dieser kann in der Nähe des Wasserspiegels, aber auch in der Nähe der Gewässersohle geschleppt werden. Das Besondere am Chirp-Sonar ist, dass Schallsignale (sog. chirps) ausgesendet werden, welche die Frequenz innerhalb eines Frequenzbandes von 1,5 - 11,5 kHz kontinuierlich ändern. Die empfangenen Echos werden im Prozessor online mit der Form des Sendesignals verglichen (korreliert) und

der Grad der Übereinstimmung als Echostärke im "Sonar Enhancement System" dargestellt und registriert. Auch bei diesem System werden unterschiedliche Frequenzen bzw. Frequenzbänder genutzt, um maximale Eindringtiefe bei optimaler Auflösung zu realisieren.

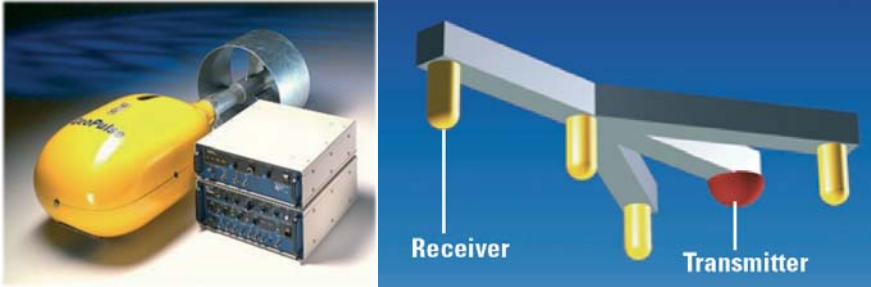


Abb. 3-45 Moderne Chirp-Systeme, l. unterm dem Schiff montiert 98, r. hinter dem Messschiff geschleppt 99

Abb. 3-46 zeigt ein seismisches Profil, das mit einem Chirp-System erzeugt worden ist. In diesem Fall wird eine Eindringtiefe in den Untergrund > 32 m erzielt. Geringmächtige Schichten < 1 m können problemlos aufgelöst werden.

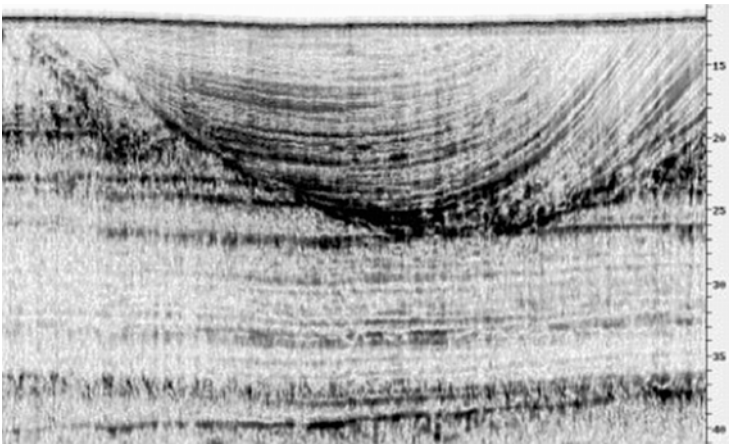


Abb. 3-46 Sedimentschichtung in einem alten Flussbett vor New Jersey, abgebildet auf dem Messschrieb einer seismischen Erkundung mittels Chirp¹⁰⁰

Sparker und Boomer

Im Vergleich zu Messungen beispielsweise mit dem parametrischen Lot bestehen sog. Sparker und Boomer grundsätzlich aus zwei Einheiten, die im Wasser hinter dem Messschiff hergeschleppt werden: einer Sende- und

einer Empfangseinheit. Die nächste Abbildung stellt dieses Messprinzip grafisch dar.

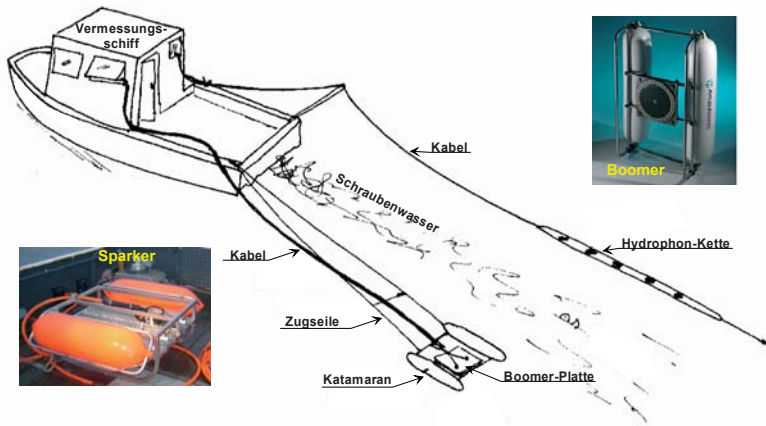


Abb. 3-47 Messprinzip Sparker- und Boomer-Messungen ¹⁰¹

Sparker und Boomer unterscheiden sich hauptsächlich in der Art der Schallerzeugung. Beim Sparker erzeugt ein Funkenüberschlag eine Wasserdampfblase, die kurz darauf in sich zusammen fällt und so einen akustischen Knall erzeugt. Dies Prinzip funktioniert nur im elektrisch sehr gut leitenden Salzwasser. Mittlerweile sind jedoch Süßwasser-Sparker am Markt, bei denen sich lediglich die Schallquelle in einem salzwassergefüllten Behälter befindet.

Beim Boomer erfolgt die Erzeugung eines Schallimpulses durch zwei Platten die elektrisch aufgeladen aufeinander prallen. Die Abstrahlenergie beider Systeme, gemessen in Joule (J), schwankt in der Kies- und Sandexploration i.d.R. zwischen 100 J und 800 J. Es wird i.d.R. ein Frequenzband in Form einer Glockenkurve mit einer mehr oder weniger deutlichen Hauptfrequenz abgestrahlt.

Die Registrierung der reflektierten Schallwellen erfolgt bei beiden Systemen im sog. Streamer. Hierbei handelt es sich um eine in Öl gelagerte Kette von Hydrophonen (Unterwassermikrofonen), die in der Kies- und Sandexploration i.d.R. zu einem einzigen Kanal zusammengefasst werden. Mehrkanalmessungen sind sehr viel aufwändiger und im betrachteten Bereich der Baggerei bzw. Lockergesteinslagerstätten unüblich.

Der Frequenzbereich des Schallimpulses befindet sich bei beiden Methoden im Bereich von ca. 500 Hz bis 10 kHz. Ein Sparker erzeugt i.d.R. geringere Frequenzen, die größere Eindringtiefen ermöglichen. Dafür kann ein Boomer Untergrundstrukturen meist besser auflösen. Neuere Geräteentwicklungen lassen die Unterschiede allerdings immer geringer werden.

Abb. 3-48 stellt einen seismischen Schrieb eines Boomers aus dem deutschen Teil der Nordsee mit den daraus abgeleiteten geologischen Schnitten dar. Außer der Gewässersohle in einer Tiefe von ca. 40 m sind eine Reihe von Reflektoren erkennbar, an denen sich die Schallhärte ändert. Über die Kalibrierung an Bohrungen und Drucksondierungen konnte zunächst ein geologischer Aufbau des Untergrundes bis in Tiefen von bis zu 40 m unter Gewässersohle bestimmt werden, der dann in eine lagerstättenkundliche Interpretation bis ca. 3 m unter Gewässersohle mündete.

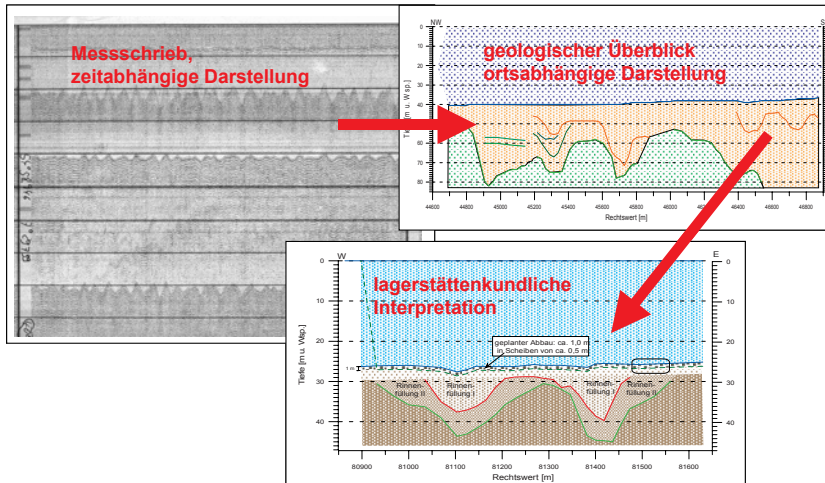


Abb. 3-48 Messergebnisse einer Boomer-Messung in der Nordsee und deren Interpretation

3.6.2.2 Elektrische Verfahren

Neben den vorstehend dargestellten akustischen Verfahren eignen sich elektrische Verfahren ¹⁰² hervorragend für die Erkundung von Kies- und Sandlagerstätten sowohl im Trockenem als auch im Nassen. Weitere potentielle Untersuchungsziele sind z.B. Baugrunduntersuchungen, Altlasten, Salzwasserintrusionen, Grundwasservorkommen sowie Verschmutzungsverfahren im Boden bzw. Grundwasser.

Die räumliche Verteilung der Gesteinschichten und deren physikalischen Eigenschaften können mittels elektrischer und elektromagnetischer Verfahren bestimmt werden. Mit den nachfolgend beschriebenen geoelektrischen Methoden werden Potentialfelder gemessen, welche durch natürliche oder künstlich angelegte magnetische oder elektrische Felder im Boden erzeugt werden. Die Felder breiten sich gemäß den elektromagnetischen Grundgesetzen der Feldtheorie im Untergrund aus. Sie werden durch

die Dimension und die physikalischen Eigenschaften der Gesteinsschichten beeinflusst und geben so Hinweise auf die Struktur des Untergrundes.

In aller Regel wird bei den elektrischen Verfahren die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes ρ [Ωm] bzw. die Leitfähigkeit σ [S/m] bestimmt. Zwischen beiden Größen gilt folgender Zusammenhang

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (3-30)$$

mit

ρ spezifischer elektrischer Widerstand
 σ elektrische Leitfähigkeit.

Tabelle 3-18 listet eine Reihe von Materialien auf, die bei der Erkundung von Lockergestein von Bedeutung sind.

Tabelle 3-18 Gängige spezifische Widerstände im Bereich der Nassgewinnung

Material	ρ [Ωm]
dest. Wasser	182
Süßwasser	3 – 80
Meerwasser	0,1 – 0,3
Lehme, Tone	2 – 0
Humus	50 – 100
Torf	20 – 40
Kies und Sand, trocken	250 – 5.000
Kies und Sand, nass im Süßwasser	40 – 300
Sandstein	< 4.000
Kalkstein	< 10.000
Granit	< 1.000.000

Besonders bemerkenswert ist, dass die Korngröße eine große Rolle spielt, d.h. Feinsande haben beispielsweise geringere Widerstände als Kiese, auch wenn sie aus demselben Material bestehen. Dies ist im unterschiedlich großen elektrischen Kontakt innerhalb der Kornmatrix begründet. Generell gilt: je kleiner die Korngröße desto kleiner der spezifische Widerstand und umgekehrt. Außerdem steuert das Vorhandensein von Wasser im Kornzwischenraum den Gesamtwiderstand des Stoffgemischs ganz entscheidend. So ist zwischen erdfeuchtem und nassem Kiessand i.d.R. ein Faktor > 10 anzusetzen.

Diese Betrachtungen veranschaulichen sehr deutlich, dass die Bestimmung des spezifischen Widerstandes ohne eine lokale Kalibrierung, d.h. Zuordnung von Widerständen und Materialien an einem direkten Aufschluss, wertlos ist. Denn in der Praxis kann es durchaus vorkommen, dass spezifische Widerstände von $40 \Omega\text{m}$ im Nassen kiesiges Material oder

auch Feinsand repräsentieren. Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen sollte die Auswertung und Interpretation von geoelektrischen Messungen ausschließlich von fachkundigem und erfahrenem Personal durchgeführt werden.

Die nachfolgend beschriebenen Verfahren unterscheiden sich zunächst in der Art der Stromeinspeisung, d.h. ob ein Gleichstrom über direkten (galvanischen) Kontakt oder ob ein Wechselstrom berührungslos in den Untergrund eingespeist wird.

Der Trend der gleichstrom-geoelektrischen Messungen an Land wird hin zu flächenhaften Messrastern mit dreidimensionalen Untergrundmodellen führen.

Der Trend der gleichstrom-geoelektrischen Messungen im Wasser geht hin zu geschleppten Systemen, bei denen die Messkabel am Wasserspiegel, als Halbtaucher oder an die Gewässersohle abgesenkt gezogen werden. Letzteres stellt an die Messausführung große Anforderungen (u.a. Hängen bleiben des Kabel an Hindernissen), hat aber den entscheidenden Vorteil, das Kabel direkt am Untersuchungsobjekt zu haben.

Gleichstrom-Geoelektrik

Die notwendige Gleichstrom-Apparatur für geoelektrische Widerstandsprospektion besteht im Wesentlichen nur aus zwei Komponenten, einer elektrischen Stromquelle und einer Messvorrichtung zur Bestimmung von Gleichspannungs-Potential-Differenzen.

Obwohl das einmalige Anlegen einer Gleichspannung theoretisch ausreicht, wird in der Praxis ein etwas aufwändigeres Verfahren gewählt. Anstelle eines reinen Gleichstroms wird ein Rechtecksignal eingespeist. Durch den Vorzeichenwechsel der Einspeisespannung können bereits im Untergrund vorhandene (Gleichstrom-)Störspannungen herausgemittelt werden. I.d.R. werden mehrere Umschaltvorgänge vorgenommen, so dass es sich bei der Gleichstrom-Geoelektrik eigentlich um eine sehr niederfrequente Wechselstrom-Geoelektrik handelt.

Zwischen den üblicherweise mit A und B bezeichneten Stromelektroden etabliert sich eine Gleichstromverteilung. Die resultierende Potentialverteilung wird von den zwei Potentialsonden M und N an der Oberfläche gemessen. Diese Methode wird oft als die Vierpunkt-Methode bezeichnet. Ihr großer Vorteil gegenüber einer Zweipunkt-Methode (d.h. Stromeinspeisung und Spannungsmessung über die gleichen Anschlüsse) liegt insbesondere darin, dass etwaige Übergangswiderstände zwischen Elektrode und Boden rechnerisch herausfallen.

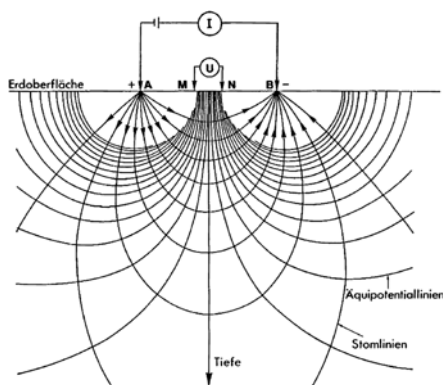


Abb. 3-49 Vierpunkt-Anordnung zur Messung des spezifischen Widerstandes

Grundsätzlich können die vier Elektroden an jedem beliebigen Ort an der Oberfläche aufgestellt werden. Eine schematische Darstellung einer beliebigen Elektrodenkonfiguration mit den frei wählbaren Abständen r_1 bis r_4 ist in Abb. 3-50 dargestellt.

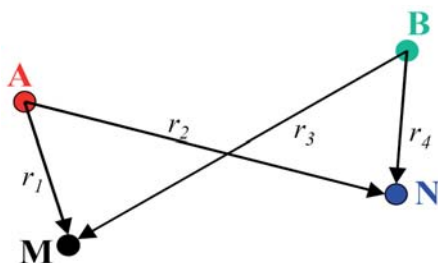


Abb. 3-50 Beliebige Vierpunkt-Anordnung an der Oberfläche ¹⁰³

Die Potentialdifferenz zwischen den Messpunkten M und N beträgt in Abhängigkeit vom eingespeisten Strom I

$$U_{MN} = R \cdot I = \frac{I}{2\pi} \rho \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) = \frac{I}{2\pi} \frac{\rho}{K} \quad (3-31)$$

mit

R elektrischer Widerstand

K Geometriefaktor.

Diese allgemeine Definition des Geometriefaktors K vereinfacht sich drastisch, wenn nur bestimmte Elektrodenkonfigurationen betrachtet werden.

Im Laufe der Zeit haben sich bei geoelektrischen Messungen bestimmte Anordnungen durchgesetzt, bei denen die Elektroden in einem festen Abstandsverhältnis zueinander stehen und sich i.d.R. auf einer Linie befinden. Die nächste Abbildung stellt die gängigen Konfigurationen mit ihren sich ergebenden Geometriefaktoren dar.

Während der geoelektrischen Messung werden die Abstände schrittweise vergrößert. Dies führt dazu, dass tiefer liegende Schichten einen immer größeren Einfluss auf den Messwert haben. Im nicht homogenen Untergrund wird somit nicht der reale sondern ein sog. scheinbarer spezifischer Widerstand, ein von verschiedenen Parametern abhängiger integrierter Wert, gemessen. Erst durch Auswerte-Software, sog. Inversionsprogramme, kann die Verteilung des tatsächlichen spezifischen Widerstandes im Untergrund bestimmt werden.

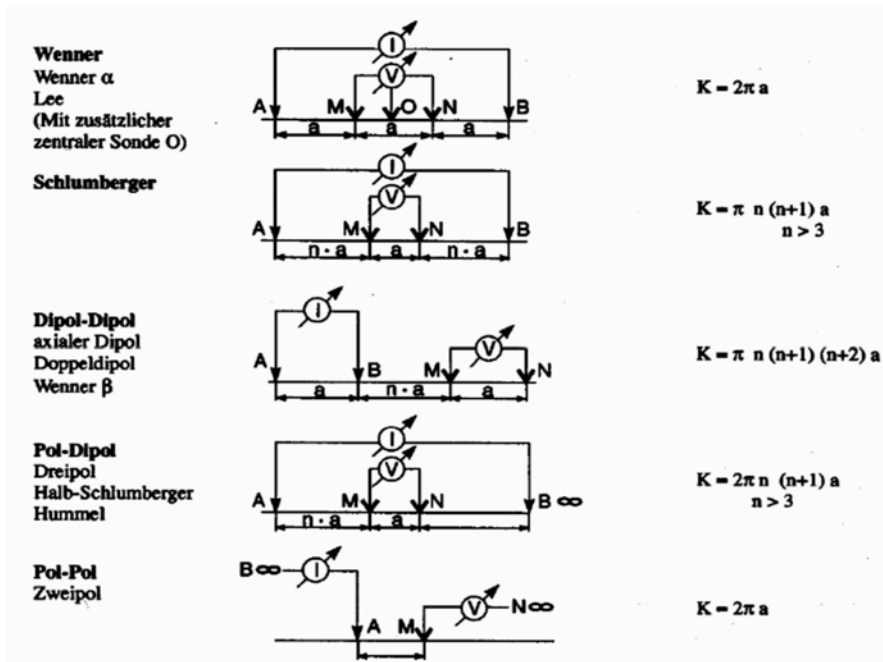


Abb. 3-51 Gängige Vierpunkt-Anordnungen und ihre Geometriefaktoren

Diese Programme - das weltweit bekannteste heißt RES2DINV¹⁰⁴ - erzeugen aus einem theoretischen Startmodell des Untergrundes die sich daraus theoretisch ergebenden Messwerte. Diese werden mit den tatsächlich gemessenen Messwerten durch Anpassung des Startmodells verglichen. Durch Veränderung in den Modellparametern werden theoretisch berechnete und praktische Messwerte iterativ möglichst vollständig angenähert.

Die sich ergebende Verteilung des spezifischen Widerstandes muss aber selbst bei großer Annäherung von modellierten und gemessenen Werten nicht unbedingt dem tatsächlichen Untergrund entsprechen, da aufgrund des sog. Äquivalenzprinzips unterschiedliche Modelle der Leitfähigkeit-Tiefen-Verteilung gleich gut interpretiert werden können. Das Äquivalenzprinzip besagt, dass Schichtmächtigkeit und spezifischer Widerstand nicht unabhängig von einander bestimmt werden können, sondern nur das Produkt oder der Quotient der beiden. Es entsteht also eine Mehrdeutigkeit der Ergebnisse, die durch Kalibrierung an direkten Aufschlüssen und die Erfahrung des Bearbeiters minimiert werden kann.

Multipol-Geoelektrik

Multipol-Messungen sind eine Spezialanwendung der Gleichstrom-Geoelektrik. Bei ihnen handelt es sich um eine preisgünstige und schnelle Methode der Untergrunderkundung an Land und im Wasser. Nachfolgend werden gängige Messanordnungen und -ausführungen vorgestellt, Angaben über Längen und Tiefen sind als Mittelwerte zu verstehen.

Bei Multipol-Messungen wird über eine große Zahl von Elektroden von teilweise weit mehr als 100 Stück der Untergrund in Form einer Widerstandstomografie hochauflösend erkundet. Die Elektroden werden i.d.R. in einem äquidistanten Abstand stationär entlang von Sektionen an der Geländeoberkante, dem Wasserspiegel oder der Gewässersohle angeordnet.

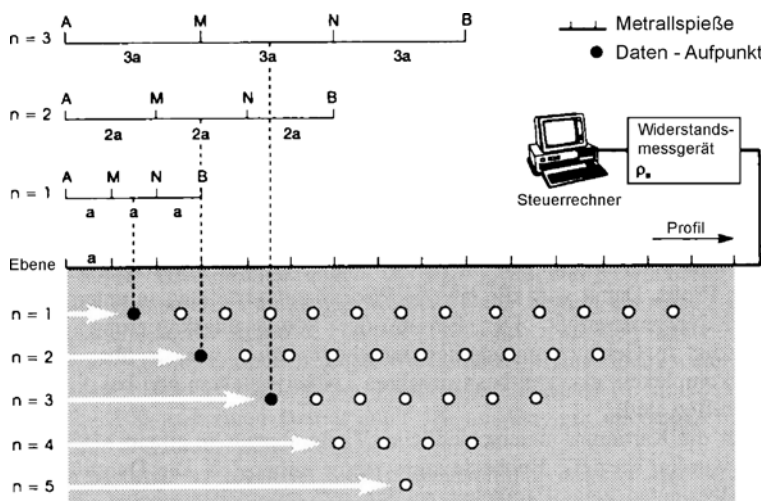


Abb. 3-52 Vierpunkt-Anordnung zur Messung des spezifischen Widerstandes nach Wenner

Im Normalfall kommen in der Kies- und Sandexploration mit weitgehend horizontaler Schichtung Elektrodenkonfigurationen nach Wenner zum Einsatz. Bei zu erwartenden sehr kleinräumigen Körpern (Tonlinsen, Rohre o. ä.) oder auch vornehmlich vertikalen Grenzen werden auch Messungen mit Dipol-Dipol oder einer modifizierten Schlumberger-Konfiguration ausgeführt.

Durch geschickte Wahl von zwei Stromeinspeise-Elektroden AB und Spannungsmesssonden MN (Abb. 3-52) können sog. Pseudosektionen erstellt werden, die dann über rechnergestützte Inversionsprogramme in eine teufenabhängige Verteilung des spezifischen Widerstandes im Untergrund umgewandelt werden können (s.o.).

Bei einer aus 50 Elektroden bestehenden Sektion werden bei einer Wenner-Konfiguration i.d.R. ca. 390 Einzelmessungen ausgeführt. Aufgrund dieser großen Messdichte wird die Eindeutigkeit der Aussagen gegenüber Einzelmessungen wesentlich erhöht, die Folgen des Äquivalenzprinzips somit eingeschränkt. Tabelle 3-19 stellt die zu erzielende Eindringtiefe in Abhängigkeit vom Elektrodenabstand dar.

Tabelle 3-19 Ungefähre Eindringtiefen von Multipol-Sektionen (50 Elektroden, Messkonfiguration: Wenner)

Elektrodenabstand [m]	Länge Sektion [m]	Eindringtiefe [m u. Elektrode]
0,5	24,5	4
1,0	49	8
2,0	98	16
2,5	122,5	20
5	245	40

Darüber hinaus hängt die Eindringtiefe der Geoelektrik ganz entscheidend von den spezifischen Widerständen im Untergrund ab. Generell gilt: Bei geringen spezifischen Widerständen wie in fetten Tonen, salzigen Böden oder Salzwasser reduziert sich die Eindringtiefe, bei hohen spezifischen Widerständen wie im trockenen Kiessand oder im Fels steigt sie an.

Da es sich bei der Geoelektrik um ein Potentialverfahren handelt, nimmt die Auflösung mit der Teufe ab. Bei stationären Multipol-Messungen sollte ein Teufenfehler von ca. 5-10 % der Teufe angenommen werden. Das heißt, je tiefer sich ein Körper befindet, desto größer muss er sein und umso deutlicher muss der Widerstandscontrast zum umgebenden Material sein, um noch erkannt zu werden (sog. Prinzip der Schichtunterdrückung). So wird in der Kies- und Sandexploration unter Umständen eine nicht nutzbare Feinsandlage erst dann eindeutig aufgelöst, wenn deren Mächtigkeit mindestens die Hälfte seiner Teufe ausmacht. Demnach muss diese

Zwischenschicht in einer Teufe von 10 m eine Mächtigkeit > 5 m haben, um noch sicher erkannt zu werden.

Die folgende Abbildung stellt die Ergebnisse einer an Land ausgeführten Multipol-Sektion nach Wenner dar. Dabei ist oben die sich aus der Inversion der Daten ergebende Verteilung des spezifischen Widerstandes im Untergrund, unten das daraus interpretierte lagerstättenkundliche Untergrundmodell dargestellt.

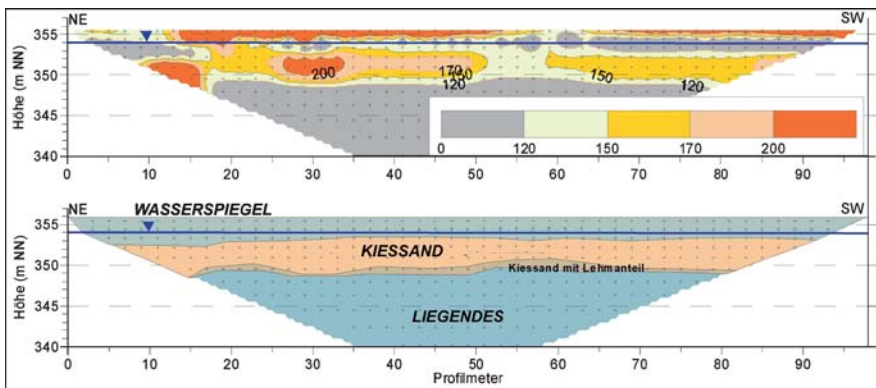


Abb. 3-53 Ergebnisse einer Multipol-Sektion an Land. (o.: Spezifische Widerstände, u.: geologisches Untergrundmodell)

Es ist erkennbar, dass ober- und unterhalb des Wasserspiegels relativ hohe spezifische Widerstände $> 150 \Omega\text{m}$ auftreten. Während es sich oberhalb des Wasserspiegels um weitgehend nicht nutzbaren Abraum mit geringen kiesigen Anteilen („Abraumkies“) handelt, weisen nahezu gleich hohe Widerstände unterhalb des Wasserspiegels auf qualitativ hochwertigen Kiessand hin.

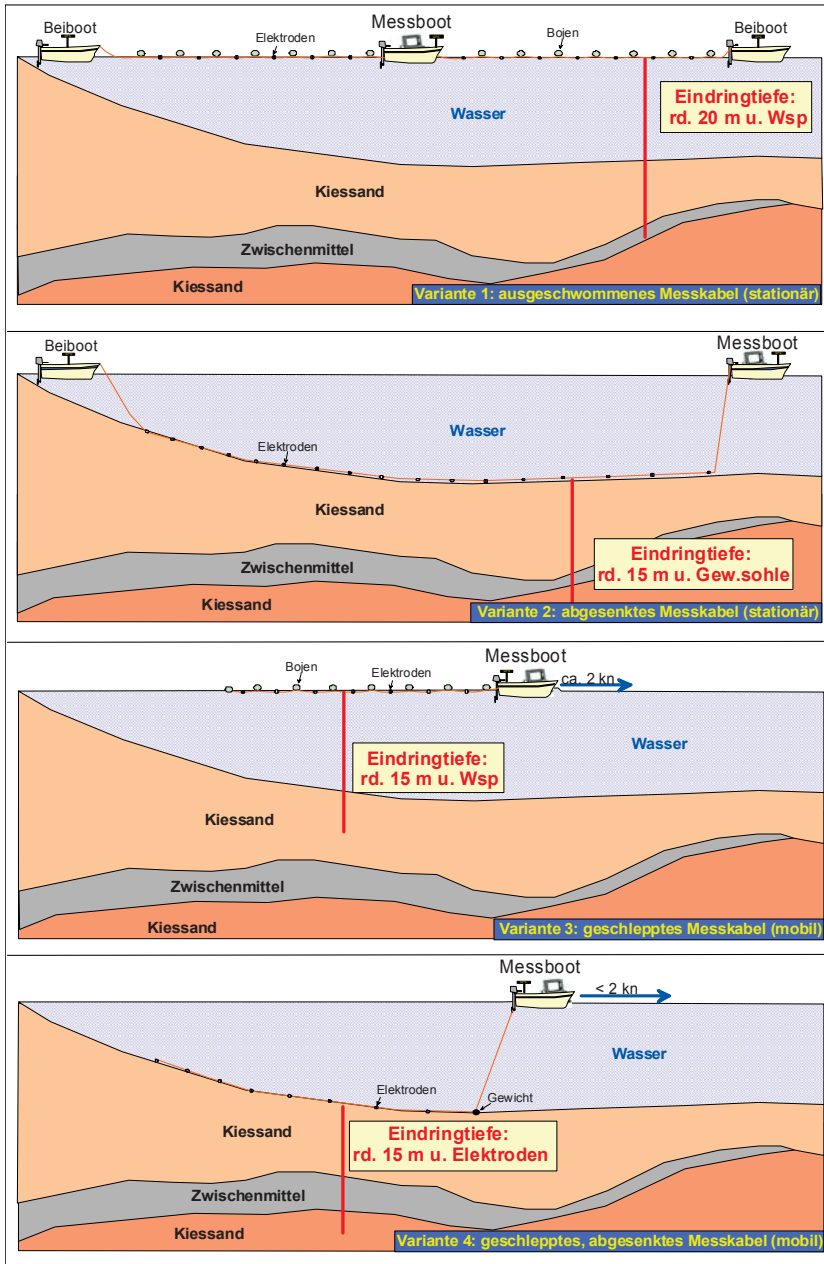


Abb. 3-54 Mögliche Messanordnungen von Multipol-Messungen im Wasser (Varianten von oben nach unten: Messkabel ausgeschwommen, stationär; Messkabel abgesenkt, stationär; Messkabel geschleppt; Messkabel abgesenkt geschleppt)

Insbesondere bei Messungen auf dem Wasser kann das Kabel während der Messungen auch hinter einem Boot hergeschleppt werden. Mobile Systeme an Land, an denen bei den Geräteherstellern intensiv gearbeitet wird, haben i.d.R. den Nachteil einer möglichen schlechten galvanischen Ankopplung, die im Wasser problemlos hergestellt werden kann. Deshalb werden derartige Systeme in der Exploration an Land nur dann zum Einsatz kommen, wenn niederohmige Lagen (feuchte Wiesen o. ä.) an der Geländeoberkante anstehen.

Abb. 3-54 stellt die möglichen Varianten für Multipol-Messungen auf dem Wasser dar. Dabei können derartige Messungen sowohl im Süß- als auch im Salzwasser ausgeführt werden.

Abb. 3-55 stellt die Ergebnisse einer an die Gewässersohle abgesenkten Multipol-Geoelektrik dar. Erkundet werden sollte in diesem Fall die Mächtigkeit der an der Gewässersohle anstehenden Tone und Schluffe. Eine vorausgehende Erkundung mittels seismischer Messungen (Sub-Bottom-Profiler) hatte keine auswertbaren Ergebnisse erbracht, da der Ton mit diesem Verfahren nicht durchdrungen werden konnte.

Abb. 3-55 belegt, dass die Multipol-Sektionen mehrere Meter mächtige bindige Lagen problemlos identifizieren und durchhören können.

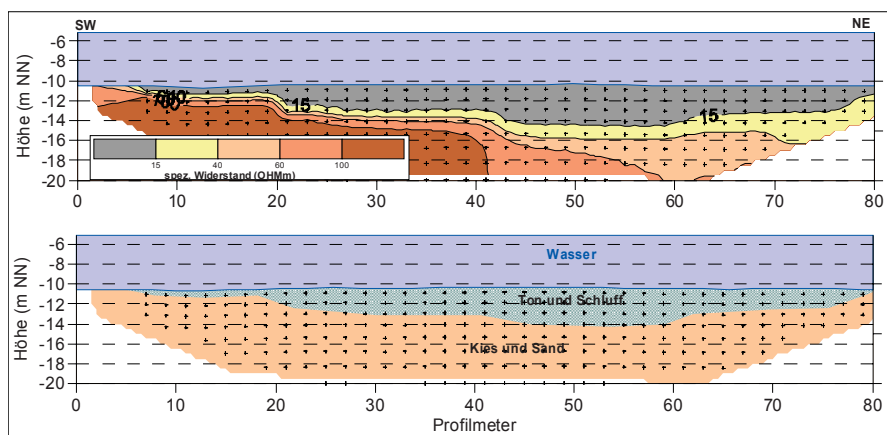


Abb. 3-55 Ergebnisse einer abgesenkten, stationären Multipol-Sektion. (o.: Spezifische Widerstände; u. geologisches Untergrundmodell)

Seit einigen Jahren werden Multipol-Messungen auf dem Wasser zunehmend nicht mehr nur stationär betrieben, sondern auch hinter dem Messschiff hergeschleppt.

Diese Möglichkeit ergab sich hauptsächlich dadurch, dass mittlerweile mehrkanalige Apparaturen zur Verfügung stehen, die bei einer Dipol-Dipol- oder einer inversen Schlumberger-Konfiguration gleichzeitig mehrere

Messwerte und somit mehrere Wirtktiefen erfassen können. Üblich sind zurzeit 8 bis 12 Kanäle. Die Messgeschwindigkeit beträgt i.d.R. ca. 2 kn, entsprechend ca. 1 m/s, mit einer Messrate von 0,3 bis 1 Hz. Damit können je nach Kabelkonfiguration Eindringtiefen von bis zu max. 20 m unter Wasserspiegel realisiert werden. U.U. werden die Messkabel jedoch so lang, dass dieses Verfahren nur auf größeren Baggerseen oder auf Flüssen sowie offshore eingesetzt werden kann.

Diese Methode hat den großen Vorteil, eine größere Anzahl Profilkilometer in kürzester Zeit zu erkunden. Nachteilig ist, dass die Qualität der Messungen durch größeres „Messrauschen“ abnehmen kann.

Abb. 3-56 stellt die Ergebnisse einer geschleppten Multipol-Messung im Salzwasser (erkennbar an spezifischen Widerständen des Wasser von ca. $0,18 \Omega\text{m}$) dar. Man erkennt einen deutlichen Anstieg des spezifischen Widerstandes an der Gewässersohle. Teilweise steigen die Widerstände auf das 10-fache des Wasserwertes und deuten in diesem Fall auf sandiges Material hin. Ergänzend zur Geoelektrik wurde eine flachwasserseismische Vermessung mittels parametrischem Lot durchgeführt. Durch Kombination von elektrischem und akustischem Verfahren konnte eine mit Schwermetallen kontaminierte tonige Schicht an der Gewässersohle (schraffiert) ausgewiesen werden.

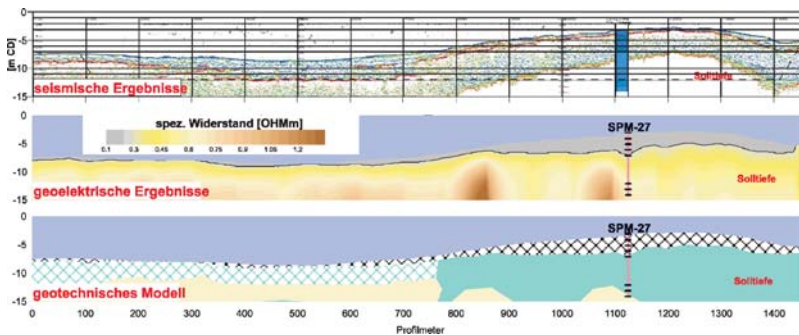


Abb. 3-56 Ergebnisse einer geschleppten Multipol-Messung im Salzwasser unter Einbeziehung einer Vermessung mittels parametrischem Lot 83

3.6.2.3 Elektromagnetische Verfahren

Bei den elektromagnetischen Verfahren wird hauptsächlich das Magnetfeld gemessen. Das Magnetfeld ist ebenso wie das elektrische Feld ein Potentialfeld, d.h. an den Messungen lässt sich ggf. erkennen, dass etwas Ungewöhnliches im Untergrund vorhanden ist, Größe und Tiefenlage können jedoch nicht ohne weiteres angegeben werden (Äquivalenzprinzip). Ein weiteres Problem liegt darin, dass das magnetische Feld an der Erdober-

fläche aus mehreren einzelnen Anteilen zusammengesetzt ist, wobei man davon ausgeht, dass ca. 94 % des Feldes aus dem Erdinneren und ca. 6 % von außerhalb der Erde stammen:

- Das Hauptfeld ist relativ konstant. Es hat seinen Ursprung im Erdinneren in einer Art Dynamo. Dieses Magnetfeld kann näherungsweise durch einen Dipol (z.B. einen riesigen Stabmagneten) beschrieben werden.
- Das Variationsfeld hat seinen Ursprung in der oberen Atmosphäre, wo der elektrisch geladene Sonnenwind auf das Erdmagnetfeld trifft und dort Variationen verursacht. Der Sonnenwind und damit auch eine dadurch verursachte Störung sind zeitlich sehr unterschiedlich. Zeiträume dieser Störungen können sich im Bereich von Sekunden, aber auch im Bereich von Tagen und Monaten abspielen.
- Das Anomaliefeld ist das eigentlich gesuchte Feld. Es wird erzeugt durch unterschiedliche magnetische Eigenschaften der Materialien in der oberen Erdkruste. Dies können z.B. Erzlagerstätten, aber auch metallischer Abfall oder im Untergrund befindliche Kampfmittel sein.

Die Messung des magnetischen Feldes erfolgt mit oder ohne Anlegen eines äußeren, künstlichen Feldes.

Typische Anwendungen sind die Erkundung von Erzlagerstätten und geologischen Strukturen wie Klüftungen und Gänge, das Auffinden von metallischen Störkörpern wie Kampfmitteln und archäologische Voruntersuchungen.

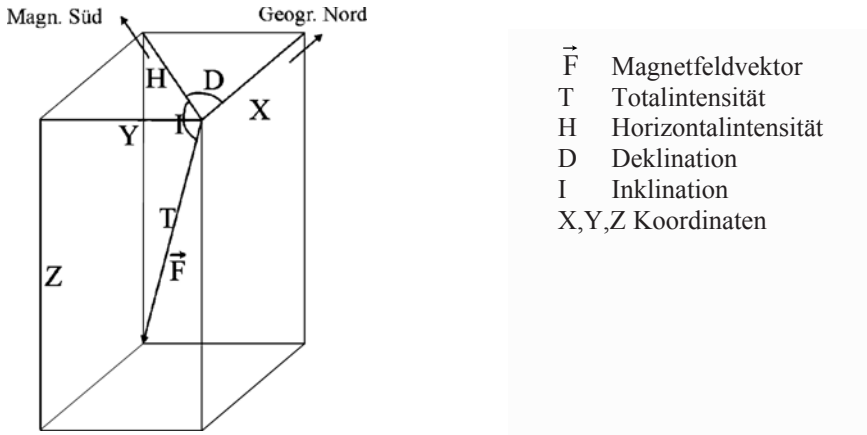
Passive Magnetfeldmessungen

Das erdmagnetische Feld kann durch die physikalischen Größen Totalintensität, Horizontalintensität, Deklination und Inklination im Raum beschrieben werden (Abb. 3-57). Diese Größen sind orts- und zeitabhängig. Sie sind u.a. auch aufgrund des Sonnenstandes täglichen Schwankungen unterworfen. Weitere Störungen sind z.B. Schwankungen in der Sonnenflecktätigkeit oder Einflüsse anthropogenen Ursprungs.

Magnetische Störkörper verursachen Anomalien des erdmagnetischen Feldes. Aufgrund des Verlaufs der Anomalien können ungefähre Angaben über Tiefe, Größe und Form des Körpers gemacht werden.

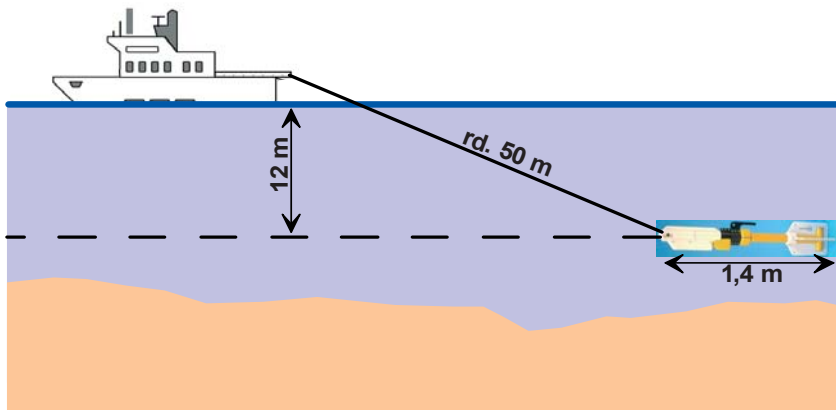
Zur Messung des Magnetfeldes kommen je nach physikalischem Messprinzip unterschiedliche Magnetometer-Typen zum Einsatz, hauptsächlich:

- Fluxgate Magnetometer (auch Förster-Sonde genannt),
- Protonen-Präzisions-Magnetometer und
- Cäsium-Magnetometer.

Abb. 3-57 Die Komponenten des Erdmagnetfeldes¹⁰⁵

Im Allgemeinen wird das Totalfeld gemessen, manchmal auch nur die vertikale Komponente des Feldes. Die qualitativ hochwertigsten Messungen sind mit einem Cäsium-Magnetometer möglich, es hat eine Messgenauigkeit von 0,001 nT.

Die Geräte sind für kontinuierliche Messungen geeignet, können sowohl an Land als auch auf dem oder im Wasser betrieben werden. Abb. 3-58 zeigt das Schema eines in einer festen Wassertiefe geschleppten Magnetometers.

Abb. 3-58 Messprinzip einer abgesenkten Magnetometer-Vermessung¹⁰⁶

In der Nassgewinnung kommen Magnetometer-Messungen insbesondere für das Aufspüren von metallischen Fremdkörpern im Baggerfeld zum Einsatz. Bei den Fremdkörpern kann es sich um Kampfmittel (Blindgän-

ger), sog. UXO (Unexploded Ordonance), oder andere metallische Gegenstände (Kabel, Stahlseile, Eisenbahnschienen o. ä.) handeln. Dabei können je nach Lage und Tiefe Körper von Patronengröße bis hin zu tonnenschweren Bomben identifiziert werden.

Die Messungen erfolgen i.d.R. entlang von Profilen, deren Abstand von den zu erwartenden Anomalien und den Wassertiefen abhängt. Die gesammelten Messwerte werden mit Hilfe von Spezial-Software ausgewertet und in Anomalie-Klassen unterteilt. Darin kann die ungefähre Größe und die ungefähre Tiefenlage eines Objektes erfasst werden. Ob es sich letztendlich um harmlosen Metallschrott oder eine hochexplosive Bombe handelt, lässt sich meist ohne Aufgrabung nicht entscheiden. Abb. 3-59 stellt die Verteilung der Totalintensität, gemessen mit einem Cäsium-Magnetometer dar. Deutlich sind eine Reihe von räumlich eng begrenzten, jedoch sehr ausgeprägten Anomalien, hier Rohre und Leitungen, erkennbar.

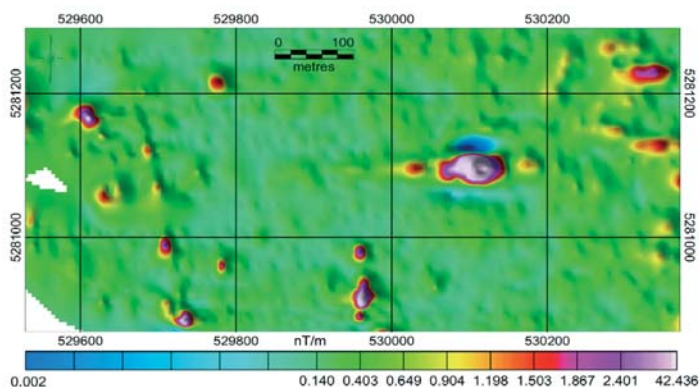


Abb. 3-59 Darstellung der Totalintensität einer abgesenkten Magnetometer-Vermessung. Die lineare Struktur im Westen gehört zu einer bekannten Pipeline¹⁰⁷

Aktive Magnetfeldmessungen

Die aktiven elektromagnetischen Verfahren beruhen auf dem physikalischen Prinzip der Induktion, d.h. zeitlich variable magnetische Felder (Primärfeld) erzeugen (induzieren) elektrische Felder (Abb. 3-60).

Im leitfähigen Boden führt dies zu elektrischen Strömen, die ihrerseits wiederum ein magnetisches Feld (Sekundärfeld) induzieren, das dem Ursprungsfeld entgegengesetzt ist. Gemessen werden nun entweder die elektrischen Felder wie bei den elektrischen Methoden oder die Überlagerung von magnetischem Primär- und Sekundärfeld.

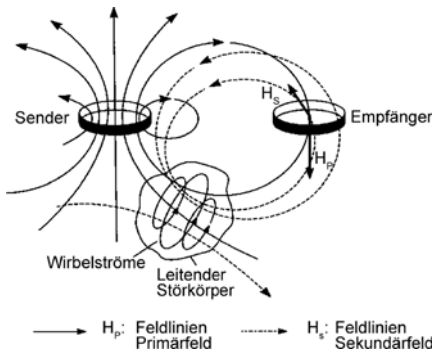


Abb. 3-60 Prinzip des elektromagnetischen Induktionsverfahrens

Das Ziel einer solchen Magnetfeldmessung ist die Ableitung der Leitfähigkeitverteilung bzw. der Widerstandsverteilung im Untergrund. Die Primärfelder können dabei entweder aktiv vom Messgerät selbst erzeugt werden (z.B. elektromagnetische Zweispulen-Systeme wie EM 31 oder MAXMIN) oder es werden elektromagnetische Felder sehr leistungsstarker Quellen wie Rundfunk- oder U-Bootsender genutzt (RMT oder VLF).

Die Informationstiefe elektromagnetischer Messungen hängt von der Frequenz des Ausgangssignals und der Leitfähigkeit des Untergrundes ab. Mit geringer werdender Frequenz und Leitfähigkeit steigt die Eindringtiefe (Skin-Effekt); andererseits sinkt mit einer geringer werdenden Frequenz das Auflösungsvermögen von Strukturen.



Abb. 3-61 Einsatz elektromagnetischer Induktionsverfahren im Gelände. (l. Geonics EM 31, r. EM 34-3)¹⁰⁸

Anwendungen von elektromagnetischen Methoden haben meist den Vorteil, dass sie schnell und flächenhaft durchgeführt werden können, da die Geräte meist keinen direkten Kontakt zum Boden haben und somit nicht aufgebaut werden müssen (Abb. 3-61). Außerdem sind die Messgerä-

te häufig tragbar und somit ohne große Flurschäden einsetzbar. Anwendungsgebiete sind vergleichbar mit der Magnetik und werden auch meist zusammen verwendet.

Gute Leiter unter schlecht leitender Überdeckung lassen sich auf diese Weise gut lokalisieren. Das heißt, dieses Verfahren eignet sich bei der Locker- und Festgesteinsexploration, wenn an der GOK trockene, schlecht leitende Materialien wie Kiessande oder Kalke ohne Abraumabdeckung anstehen. Außerdem kann das elektromagnetische Induktionsverfahren z.B. zur Grundwasserprospektion in ariden Gebieten oder zur Erzprospektion eingesetzt werden.

Abb. 3-62 stellt die Ergebnisse einer elektromagnetischen Erkundung mit einer EM31-Apparatur in Northern Alberta, Kanada, dar, bei der die Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund bestimmt worden ist. Hiermit wurden überdeckte und an der Oberfläche nicht erkennbare Reste einer Raffinerie bis in Teufen von ca. 3 m unter GOK sichtbar gemacht.

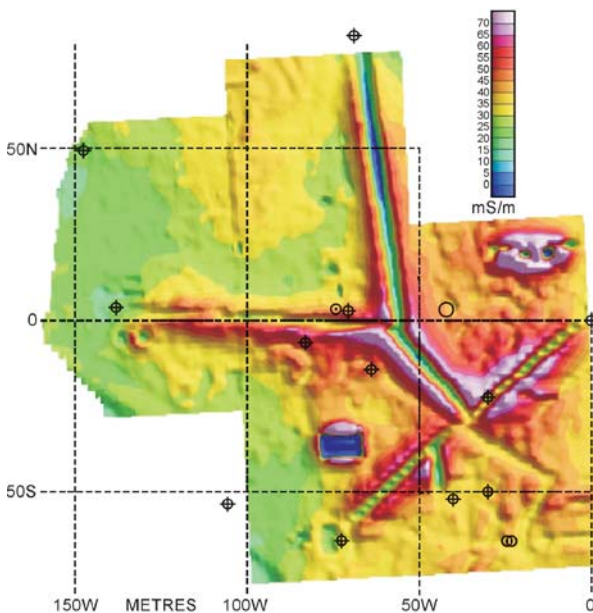


Abb. 3-62 Leitfähigkeitsverteilung gemäß Erkundung mittels elektromagnetischem Induktionsverfahren (Messgerät: EM 31 ¹⁰⁹)

Georadar

Georadar gehört ebenfalls zu den elektromagnetischen Verfahren, hat aber eine gewisse Sonderrolle, da hier kurze elektromagnetische Impulse

in den Untergrund abgestrahlt und dann die Reflexionen wieder empfangen werden. Diese Reflexionen entstehen an Grenzschichten, an denen sich die Leitfähigkeit ändert. Ausgewertet werden hier aber nicht die Leitfähigkeiten als solches sondern es werden genau wie in der Seismik die Laufzeiten des Impulses im Erdboden ausgewertet. Daraus können dann Tiefenlagen, Leitfähigkeit und die Dielektrizitätskonstante, welche die Durchlässigkeit für elektrische Felder beschreibt, von Materialien im Untergrund bestimmt werden.

Abb. 3-63 zeigt die schematische Darstellung des Georadars. Die Anwendung des Georadars hat den Vorteil, sehr schnell durchführbar zu sein, aber die Methode beschränkt sich auf den oberflächennahen Bereich von i.d.R. max. mehreren Metern, da man mit hohen Frequenzen arbeiten muss und auch hier das Problem auftritt, dass gute Leiter die Eindringtiefe stark herabsetzen. So können der Grundwasserspiegel oder Tonschichten nicht durchdrungen werden.

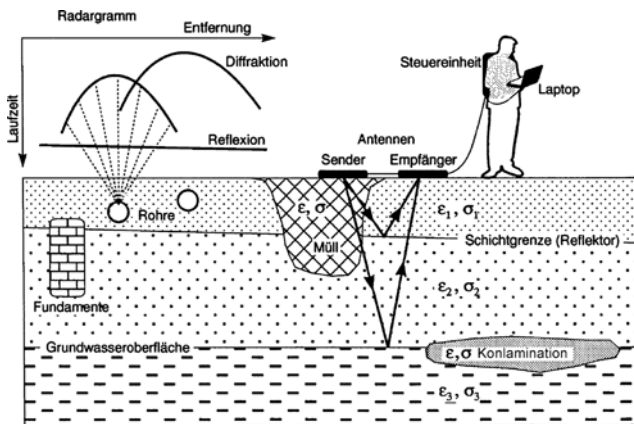


Abb. 3-63 Schematische Darstellung des Georadars nach Knödel ¹¹⁰

Anwendungsgebiete sind z.B. die Bestimmung des Grundwasserspiegels, die Suche nach Blindgängen oder die Erkundung von abgeräumten Kieslagerstätten.

Die folgende Abbildung stellt die Erkundung des Untergrundes unterhalb einer Straße am Fuß eines Hochwasserdeiches dar. Neben Armierungseisen im oberen Bereich sind vor allem unterschiedliche Kabel und Leitungen bis in Teufen von max. 1,2 m zu erkennen.

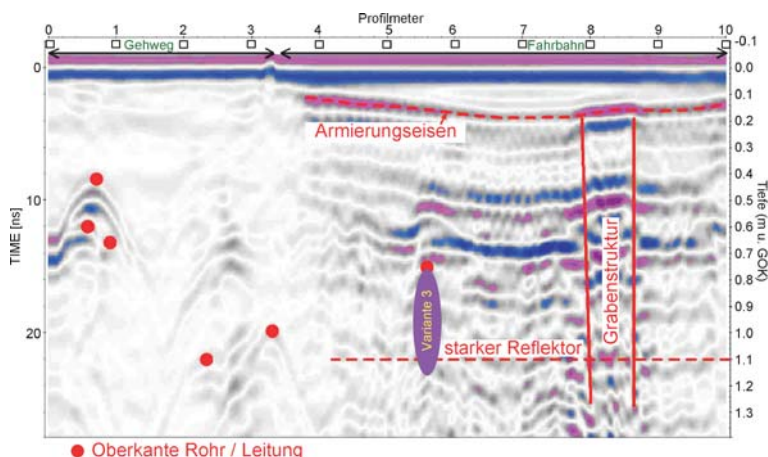


Abb. 3-64 Ergebnisse eines Georadarprofils im Bereich einer Deichkreuzung

Der Trend beim Georadar geht dahin, Messungen ähnlich einem Echolot im Süßwasser auszuführen. Dabei können bei geringen Wassertiefen < 4 m sogar die oberen Sedimentschichten durchdrungen werden. Insbesondere bei gashaltigen Schlickern hat diese Methodik entscheidende Vorteile gegenüber akustischen Verfahren.

3.6.2.4 Bestimmung der in situ Dichte

Nachfolgend werden zwei Verfahren zur Bestimmung der in situ Dichte vorgestellt, die jeweils auf völlig unterschiedlichen physikalischen Prinzipien beruhen.

Die in situ Dichte ist bei einer Reihe von Nassbaggertechnischen Fragestellungen von Bedeutung, beispielsweise wenn es darum geht, ob bestimmte Baggergeräte besonders harte oder besonders weiche Schichten überhaupt gewinnen können.

Kerngeophysikalische Dichtesondierung

Die kerngeophysikalischen Messungen bestimmen mittels einer γ - γ -Tiefenonde die in situ Feuchtrohdichten. Abb. 3-65 stellt links den Sonaufbau in einem kalibrierten Gestänge (Außendurchmesser: 36 mm) schematisch dar. Rechts ist der Aufbau im Gelände, hier in einem Hamburger Hafenbecken dargestellt. Das Gestänge wird im Vorfeld der Messungen in den Untergrund gerammt und die Messsonde dann frei beweglich eingebracht (Messzeit pro Einzelmessung: 30 sec, normaler Messabstand 30 cm, bei Bedarf Verdichtung).

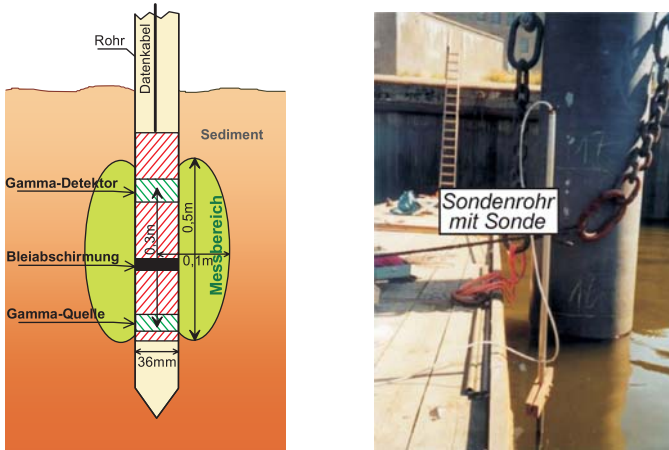


Abb. 3-65 Rückstrahlsonde (l. Prinzipskizze, r. Messungen im kalibriertem Rohr)

Das hierbei als γ -Strahler verwendete radioaktive Isotop Cs_{137} sendet Strahlungen aus, die feste Körper, hier Bodenschichten, durchdringen können. Direkte Strahlung von der Quelle zum Detektor wird durch eine Bleiabschirmung verhindert. Je größer die Dichte des umgebenden Materials ist, desto stärker ist die zum Detektor rückgestrahlte Energie, registriert als Zählrate.

Die Anzahl der pro Zeiteinheit eintreffenden γ -Teilchen am Detektor ist bei fixierten geometrischen Verhältnissen ein Maß für die Elektronendichte und damit auch für die Dichte der durchstrahlten Materie.

Das Bodenvolumen, in dem die jeweilige Dichtemessung erfolgt, entspricht ungefähr einem Rotationsellipsoid mit einem maximalen Radius von ca. 0,1 m und der Länge von etwa 0,5 m.

Die Angabe der in situ Dichte des Bodens bzw. deren in situ Feuchte, die entsprechend der Dichtesonde mit einem Neutronenstrahler (n-n-Sonde) bestimmt wird, erfordert eine genaue, aufwändige Kalibrierung der γ - bzw. n-n-Sonde an natürlichen Erdstoffen aus Sand/Ton-Gemischen terrestrischen Ursprungs, vorzugsweise aus dem Messgebiet.

Abb. 3-66 stellt die Ergebnisse einer Baugrunduntersuchung im Rahmen einer Dammrassenplanung dar. Dort ist neben der in situ Dichte der in situ Wassergehalt dargestellt. Der Wasserspiegel befindet sich bei ca. 88,8 m ü. NN. Darunter steigt die Dichte von Werten $< 1,8 \text{ t/m}^3$ bis in eine Tiefe von 87,5 ü. NN bis auf Werte um $2,0 \text{ t/m}^3$ (Grenzwert gem. Auftraggeber) an. Parallel dazu steigt der Wassergehalt von Werten um 0,3 auf Werte $> 0,5$. Bei 87 m ü. NN steigt die in situ Dichte um $0,16 \text{ t/m}^3$ steil an, während der Wassergehalt um ca. 0,2 abfällt. Aufgrund der Tatsache, dass rolliges Material durch eine höhere Feuchtrohdichte bei geringerem Wassergehalt ge-

kennzeichnet ist, befindet sich in dieser Teufe der Übergang von überwiegend bindiger Abdeckung zu überwiegend rolligem Kiessand.

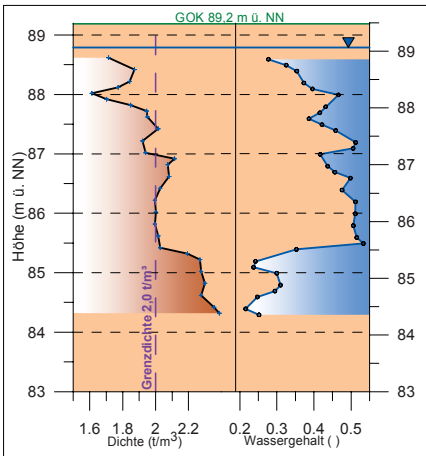


Abb. 3-66 Radiometrisch gemessenes Dichte- und Wassergehaltsprofil

Kerngeophysikalische Sondierungen können in situ Dichtewerte in einem Intervall zwischen ca. $0,8 \text{ t/m}^3$ (z. B. Torfe) bis ca. $2,5 \text{ t/m}^3$ mit einer hohen Genauigkeit von $0,01 \text{ t/m}^3$ bestimmen, so etwa in Spülfeldern oder zur Hohlräumerkundung. Trotzdem kommen derartige Sondierungen nur selten zum Einsatz, da der Zeitaufwand und damit die Kosten relativ hoch sind.

Akustische Dichtesondierung

Eine weitere Methode der in situ Dichtebestimmung stellen die sog. Dichtesondierungen dar. Verfahrensbedingt kann hiermit ausschließlich im Nassen innerhalb des Dichteintervalls von ca. $1,0 \text{ t/m}^3$ bis ca. $1,35 \text{ t/m}^3$ gemessen werden.

Die Dichtesonde basiert auf dem physikalischen Prinzip der Stimmgabel und gehört damit zu den akustischen Verfahren. An der Spitze der Sonde befinden sich zwei Zinken. Einer der beiden wird in Schwingungen bestimmter Frequenz versetzt. Beim anderen werden die resultierende Frequenz und Amplitude gemessen. Diese hängen von dem zwischen den Zinken befindlichen Material, insbesondere seiner Dichte, ab. Das System misst kontinuierlich, während es in den Untergrund aufgrund seines Eigengewichts langsam eindringt mit einer Messfrequenz von ca. 7 Hz. Abb. 3-67 stellt die Dichtesonde dar.



Abb. 3-67 akustische Dichtesonde ¹¹¹

Um die Messwerte den absoluten Dichtewerten zuordnen zu können, bedarf es auch bei diesem Verfahren einer aufwändigen Kalibrierung, die an Material des Messgebietes durchgeführt werden muss. Die Dichtesonde kann eingesetzt werden, um

- die nautische Tiefe in Schifffahrtswegen zu bestimmen und damit vorhandene Echolote zu kalibrieren,
- Verschlickungen in Baggerseen, Flüssen und Häfen zu finden und zu dokumentieren,
- die Schifffahrt behindernde Dichtewolken innerhalb der Wassersäule zu identifizieren (Bestimmung der sog. nautischen Tiefe),
- Rückleitungen feinkörnigen Materials in Baggerseen o. ä. zu dokumentieren.

Abb. 3-68 zeigt die Ergebnisse einer Kombination von Echolot und Dichtesonde in einer Seitenentnahme für einen Autobahnbau. Nach der Sandentnahme wird der See mit schluffig / torfigem Material verfüllt. Man erkennt signifikant unterschiedliche Bereiche. Diese sind von unten nach oben:

- gewachsener Boden,
- eine Zone aufgelockerten Materials (Dichte $> 1,3 \text{ t/m}^3$), das vornehmlich aus Sand besteht und als Rest der Sandentnahme anzusehen ist,
- ein locker gelagerter Bereich mit in situ Dichtewerten von ca. $1,05$ bis $1,25 \text{ t/m}^3$, bei dem es sich um rückgeleitete Schluffe und Sande handelt, die später durch Auflast verdichtet werden sollen.

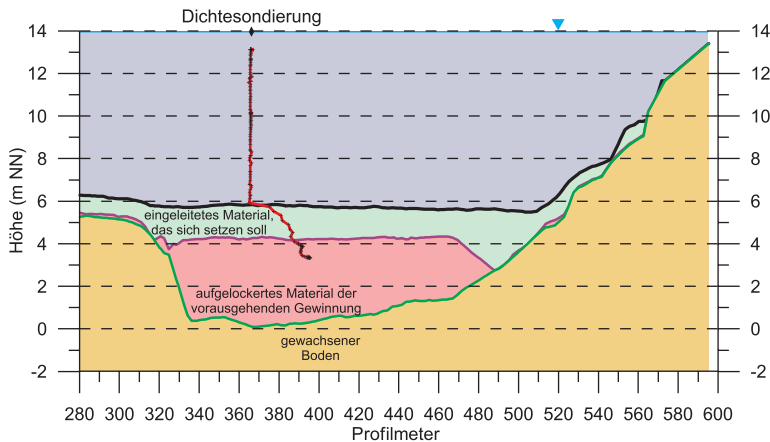


Abb. 3-68 Ergebnisse einer Dichtesonddierung während der Rückverfüllung einer Seitenentnahme

Mit Wissen dieser Parameter kann beispielsweise das noch zur Verfügung stehende Verfüllvolumen bestimmt werden. Ohne Dichtesonddierung wäre dies nicht ausreichend genau möglich. Der Vorteil dieser Messmethodik liegt in der exakten und schnellen Bestimmung eines so wichtigen bodenmechanischen Parameters wie der in situ Dichte. Problematisch ist dabei lediglich die maximale Dichte, die durch das Eindringen der Sonde infolge Eigengewichts beschränkt ist.

3.6.2.5 Verfahrensvergleich

Zur besseren Einschätzung der vorgestellten Verfahren sind die jeweiligen Vor- und Nachteile tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 3-20). Sicherlich ist bei jedem Lastfall eine lokale Bewertung der Untergrundverhältnisse und der erwarteten Ergebnisse von Nöten, um das am besten geeignete Verfahren auszuwählen.

Gemeinsam ist den vorgestellten geophysikalischen Messverfahren, dass sie indirekt sind, also über Umwege physikalische Parameter bestimmen. Damit dies mit hinreichender Genauigkeit funktioniert, bedürfen alle Verfahren daher einer gezielten Kalibrierung.

Tabelle 3-20 Vergleich geophysikalischer Verfahren

	Methode	Vorteile	Nachteile
Akustisch	Vertikallot	Standardverfahren	ausschließlich im Nassen einsetzbar
	(1- bzw. 2-Frequenz)	Stand der Technik	Informationen nur entlang von Profilen
		preisgünstig	
		leichte Ausrüstung	
	Side Scan Sonar	flächenhafte Visualisierung der Gewässersohle	ausschließlich im Nassen einsetzbar
		Stand der Technik	keine Referenzierung der seittl. Informationen
	Fächerlot-Peilung bzw.	flächenhafte Vermessung	ausschließlich im Nassen einsetzbar
	Flächen-echolot-Peilung	sehr hohe Datendichte	aufwendig, größeres Boot erforderlich Teuer
Elektrisch	Sub-Bottom-Profiler	Eindringung in den Untergrund	ausschließlich im Nassen einsetzbar
		Aussagen entlang von Profilen	keine Durchdringung von besonders grob und feinkörnigen Lagen
			keine Durchdringung von gashaltigen Schichten
	Dichtesondierungen	direkte Ableitung der in situ Dichte	nur punktuelle Aufschlüsse
		zur Kalibrierung von anderen akustischen Verfahren geeignet	kleines Dichteintervall
		hohe Messfrequenz	
		leichte Ausrüstung	
	Multipol-Sektionen	im Nassen und Trockenem einsetzbar	relativ aufwändig und langwierig
		Möglichkeit von 2D- und 3D-Messrastern	i.d.R. nur stationäre Messungen, d.h. nur Aussagen entlang der Sektionen
		durchdringt besonders grob- und feinkörnige Lagen	galvanische Ankopplung an Untergrund nötig
		durchdringt gashaltige Lagen	Potentialverfahren, d.h. Ergebnisse nicht eindeutig
	Magnetik (passiv)	im Nassen und Trockenem einsetzbar	nur bei Spezialfragen geeignet
		Messungen entlang von Profilen	Potentialverfahren, d.h. Ergebnisse nicht eindeutig
		hohe Messfrequenz	meist geringe Eindringtiefen
		direkte Angabe des Magnetfeldes	
		leichte Ausrüstung	

Fortsetzung Tabelle 3-20

	Magnetik (aktiv)	im Nassen und Trockenem einsetzbar	nur bei Spezialfragen geeignet
		eine galvanische Ankopplung erforderlich	Potentialverfahren, d.h. Ergebnisse nicht eindeutig
			meist geringe Eindringtiefen
	Georadar	keine galvanische Ankopplung erforderlich	relativ geringe Eindringtiefen
		geeignet bei hochohmigen Ankopplungsbedingungen	
		profilhafte Vermessung	
		identifiziert Schichtgrenzen	
		schneller Messfortschritt	
	Radioaktiv	Kerngeophysikalische Sondierungen	
		direkte Ableitung der in situ Dichte	geringe Messfrequenz
		zur Kalibrierung von anderen akustischen Verfahren geeignet	aufwändig
		großes Dichteintervall	teuer

Der größte Unterschied zwischen akustischen und elektrischen bzw. elektromagnetischen Verfahren, ausgenommen Georadar, liegt sicherlich darin, dass bei akustischen Verfahren Änderungen zwischen zwei Schichten (Schichtgrenzen) identifiziert werden, wohingegen elektrische Verfahren Unterschiede innerhalb einer Schicht ermitteln.

3.7 Fallbeispiel: Kombination verschiedener Erkundungsmethoden

Im folgenden Fallbeispiel sollen der Erfolg einer flächendeckenden Erkundung und die eingesetzten Methoden -eine Kombination aus Bohrungen und geophysikalischen Messverfahren- am Beispiel einer 116 ha großen Restlagerstätte mit unverritz ca. 16 m mächtigen Vorräten dargestellt werden.

Die Zahl erforderlicher Bohrungen ergibt sich nach der sog. Verbeek-Formel¹¹²

$$n = 3 + (A^{0,5} d^{0,33})/50 \quad (3-32)$$

zu $n = 57$ - entsprechend einer Erkundungsdichte von 0,5 Aufschlüssen je ha. Ausgeführt wurden seinerzeit vor Beginn der Abbautätigkeit insgesamt 43 Bohrungen, davon waren 34 im Bereich des möglichen Restgewinnungsfeldes angesetzt.

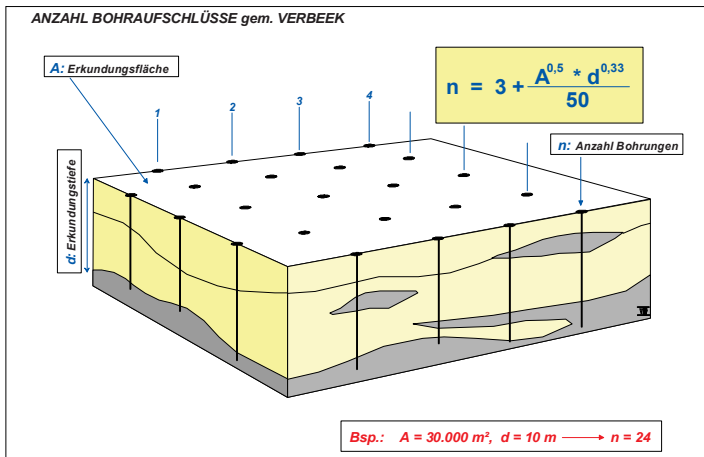


Abb. 3-69 Anzahl erforderlichen Bohrungen

Diese Daten konnten für die Beurteilung der Machbarkeit einer Restgewinnung jedoch nur sehr begrenzt zur Festlegung des Liegendhorizontes herangezogen werden, u.zw. aus folgenden Gründen:

- Ausdünnung des Körnungsgehaltes der Restvorräte infolge Abbau mittels Schwimmgreifer (rücklaufende Feinsande während der Entwässerung der Greiferladung),
- Rückleitung von abschlämmbaren Bestandteilen aus der Aufbereitung,
- Abdeckung der Restvorräte mit nicht nutzbaren Böden infolge Verkipungen der Böschungen.

Bohrungen, als alleiniges Erkundungsmittel unterstellt und ausgeführt als verrohrte Bohrung, mit Entnahme von Kernproben und Feststellung der Lagerungsdichte mittels SPT-Sondierungen würden im erforderlichen Umfang einen sehr hohen Aufwand bedeuten.

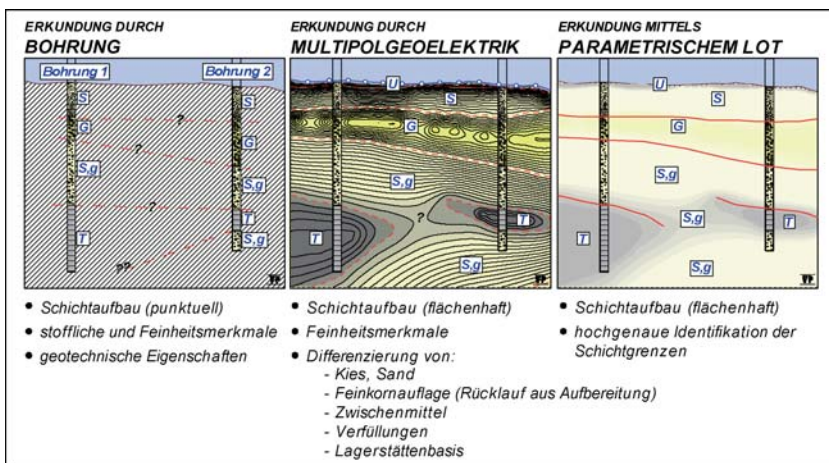


Abb. 3-70 Zielsetzung verschiedener Erkundungsverfahren (l.: Bohrungen, m.: geoelektrische Multipol-Sektionen, r.: parametrisches Echolot)

Ein guter Weg, die Kosten zu senken und dennoch die gewünschte Informationsdichte zu erhalten, ist deshalb die Kombination von Bohrungen, und geophysikalischen Messungen, d.h. zu Wasser die Erkundung mittels ergänzender Geoelektrik und Flachwasserseismik (parametrischem Lot).

Die unterschiedlichen Messergebnisse der verschiedenen angewandten Verfahren sind in Form eines Schnittes in Abb. 3-70 dargestellt. Mittels i.d.R. zu geringer Anzahl von Bohraufschlüssen kann die Lagerstätte durch geradlinige Interpolation zwischen den Bohrprofilen mehr oder weniger repräsentativ dargestellt werden (Abb. 3-70, linkes Bild). Eine Besserung der Darstellung lässt sich mittels geoelektrischer Darstellung des Untergrundes erzielen, durch die die Morphologie einzelner Schichten deutlich wird (Abb. 3-70, mittleres Bild). Durchgehende Schichtgrenzen lassen sich in Baggerseen mittels Flachwasserseismik darstellen (Abb. 3-70, rechtes Bild).

Die Ergebnisse der Erkundung der Restlagerstätte mittels der Kombination von Bohrung, Geoelektrik und parametrischem Lot sind flächenhaft in Abb. 3-71 und Abb. 3-72 dargestellt.

Die Ergebnisse der kombinierten Erkundung haben ca. 4,5 Mio. t gewinn- und nutzbare Restvorräte ergeben, so dass der Standort vermutlich solange weiter vorgehalten werden kann, bis die Genehmigung eines weiteren Teilfeldes vorliegt. Wäre kein Playdoyer für die detaillierte Erkundung der Restlagerstätte bei Betreiber und Genehmigungsgeber erfolgt und die dargestellte Erkundung nicht durchgeführt worden, wäre der Standort bereits stillgelegt.

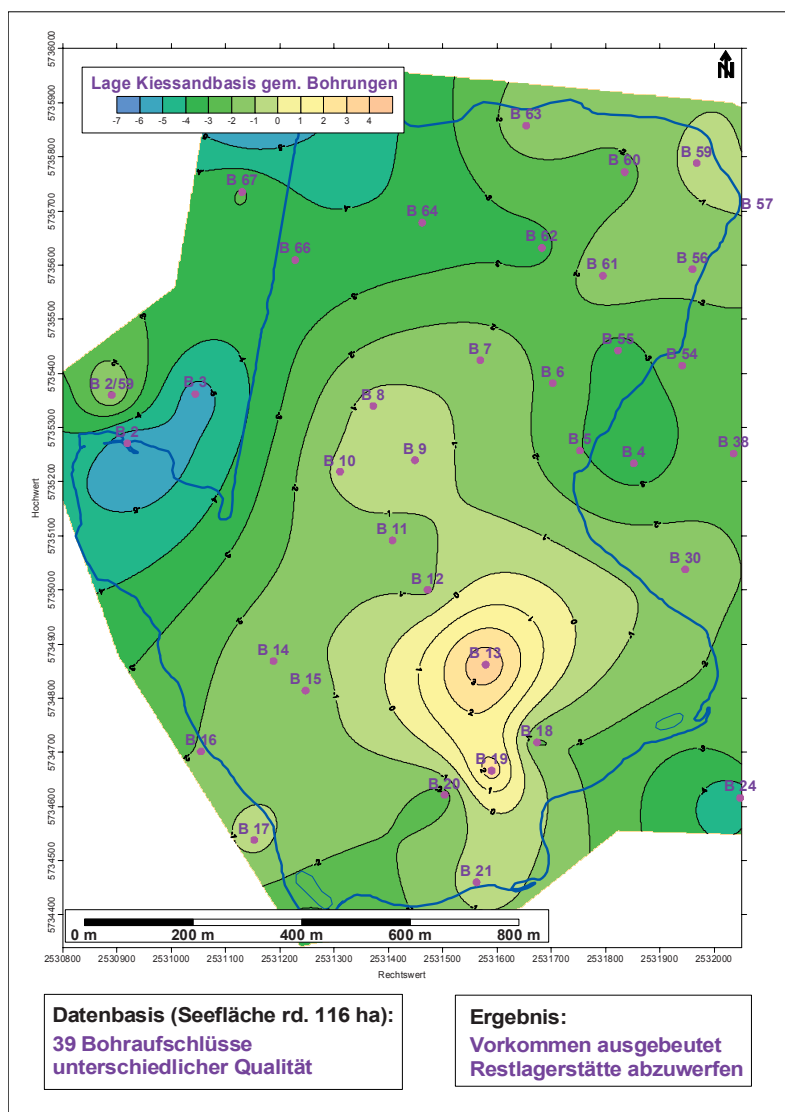


Abb. 3-71 Erkundung der Restlagerstätte mittels Bohrungen

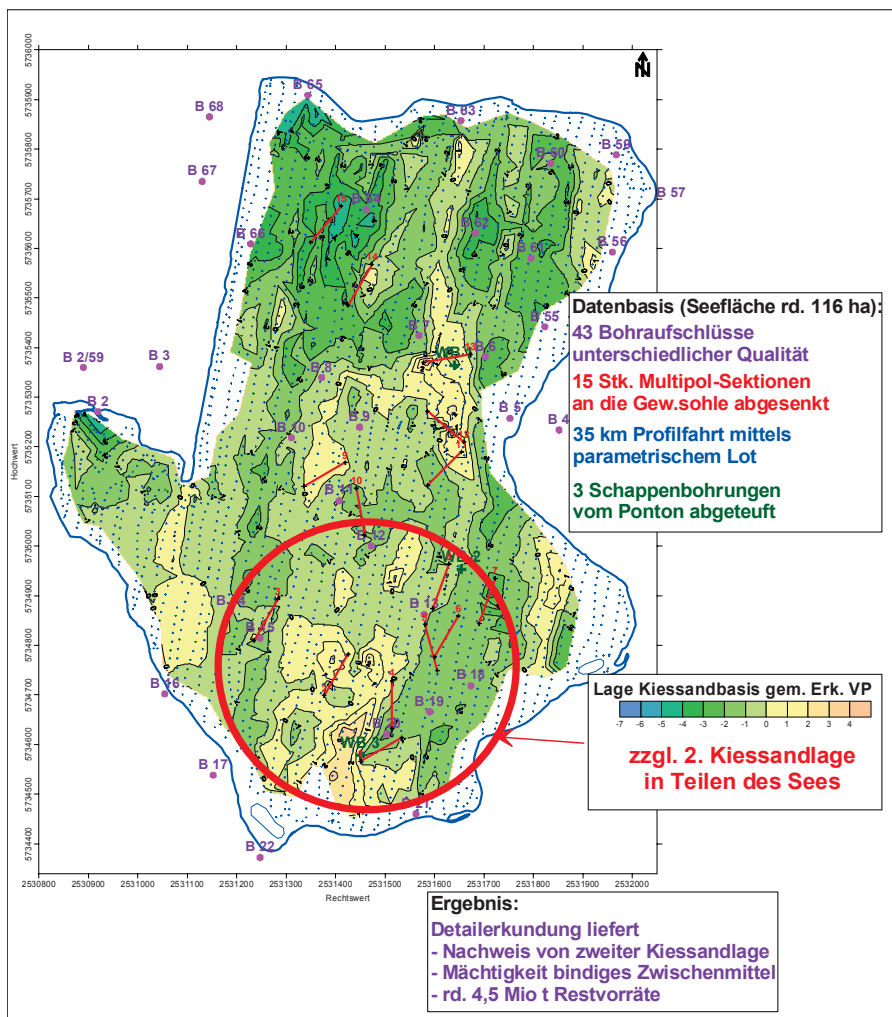


Abb. 3-72 Ergänzende Erkundung der Restlagerstätte (Schuppenbohrungen, Geoelektrik und parametrisches Echolot)

3.8 Vorratsermittlung

Bei der Vorratsermittlung handelt es sich um die mengenmäßige Beurteilung der Vorräte einer Lagerstätte. In Tabelle 3-21 ist eine Vorratsberechnung exemplarisch dargestellt.

Es sind zu unterscheiden:

- Geologische Vorräte
Vorräte innerhalb der Abbaufäche bei senkrechter Abgrenzung der Lagerstätte.
- Gewinnbare Vorräte
Gewinnbare Vorräte sind die geologischen Vorräte abzüglich Abbau- und unvermeidbaren Gewinnungsverlusten (Abb. 3-73).

Nutzbare Vorräte

Nutzbare Vorräte sind gewinnbare Vorräte abzüglich der gewonnen, jedoch nicht nutzbaren Einschlüsse, z.B.

- hangende Schichten aus Tonen, Schluffen, Feinsanden,
- eingeschlossene Schichten wie bindige Zwischenlagen, Linsen aus Ton, Torf oder Steinfelder.

Tabelle 3-21 Beispielrechnung einer Abschätzung aufgehaldeter und vermarktbarer Vorräte

	Grundlage		Teilfeld 1	Teilfeld 2
Abbaufäche A	Planung	m ²	440.000	42.000
mittlere Mächtigkeit M	Erkundung	m	21,9	40
Geologische Vorräte V _{geol}	V _{geol} = A M	m ³	9.636.000	1.680.000
Davon nicht gewinnbar:				
./Abbauverluste V _{av} (H:L=1:2,5)	Planung	m ³	5.251.000	384.000
./Gewinnungsverluste V _{gv}	Planung	m ³	390.000	450.000
Gewinnbare Vorräte V _{gew}	V _{gew} = V _{geol} - V _{av} - V _{gv}	m ³	3.995.000	846.000
Davon nicht nutzbar:				
./Gebiet mit fs-/U-Auflage >3,0 m	Erkundung	m ³	1.314.000	---
./bindiges Zwischenmittel	Erkundung	m ³	952.000	58.000
./Abraum	Erkundung	m ³	---	42.000
./bindige Zwischenlage	Erkundung	m ³	---	48.000
./sandige Schluffauflage an Gewässersohle	Erkundung	m ³	63.000	---
Nutzbare Vorräte		m ³	1.666.000	698.000
Davon nicht aufgehaldet:				
./abschlämbbare Bestandteile	%	m ³	66.520	27.920
./Streuverluste, Eigenbedarf	%	m ³	55.900	23.450
Aufgehaldete Vorräte			1.543.580	646.630
Davon nicht vermarktbar				
./überschüssige Vorräte		m ³	---	---
Vermarktbare Vorräte		m ³	1.543.580	646.630

Aufgehaldete Vorräte

Aufgehaldete Vorräte sind nutzbare Vorräte abzüglich abschlämmbarer Fein- oder Grobanteile nach Aufbereitung unter Berücksichtigung des Auflockerungsfaktors und der Schüttdichte des aufgehaldeten Materials.

Vermarktbarer Vorräte

Vermarktbarer Vorräte sind aufgehaldete Vorräte abzüglich Eigenbedarf für Wegebau und Befestigungen, Streuverluste und zumindest temporär nicht vermarktbaren Vorräte, z.B. überschüssige Sande.

3.8.1 Abbauverluste

Im Zuge der Nassgewinnung entstehen Vorratsverluste, wie in Abb. 3-73 dargestellt.

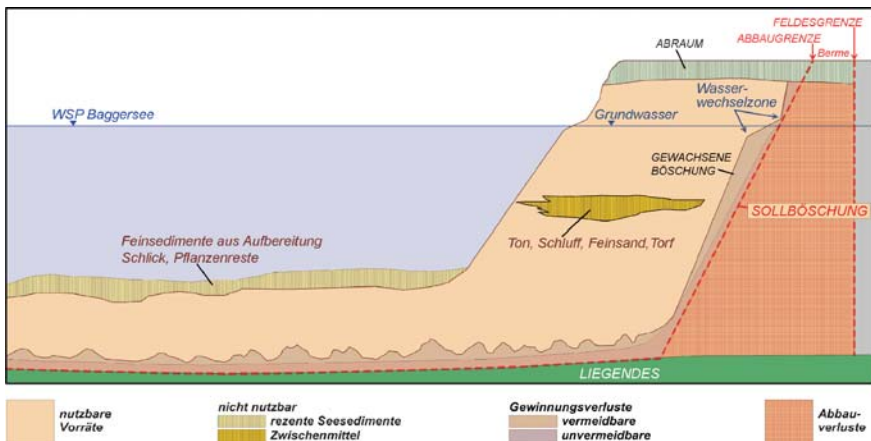


Abb. 3-73 Vorratsverluste bei der Nassgewinnung

Vorratsverluste sind

- Abbauverluste und
- Unvermeidbare Gewinnungsverluste

Auf die vermeidbaren Gewinnungsverluste wird weiter unten eingegangen (s. Kapitel 5.3.1.5).

Abbauverluste sind Lagerstättenteile, die sich wie folgt ergeben:

- aus Vertaubungen oder Verwerfungen, in denen kein Abbau geplant ist,
- aus genehmigungsrechtlichen Auflagen, wie z.B. Sicherheitsstreifen zu Verkehrswegen (Straße, Bahntrasse) oder Bermen sowie
- aus standsicheren Böschungsneigungen.

Abbauverluste treten im Wesentlichen im Böschungsbereich auf. Sie nehmen erheblichen Einfluß auf die Höhe der gewinnbaren Vorräte (Abb. 3-74).

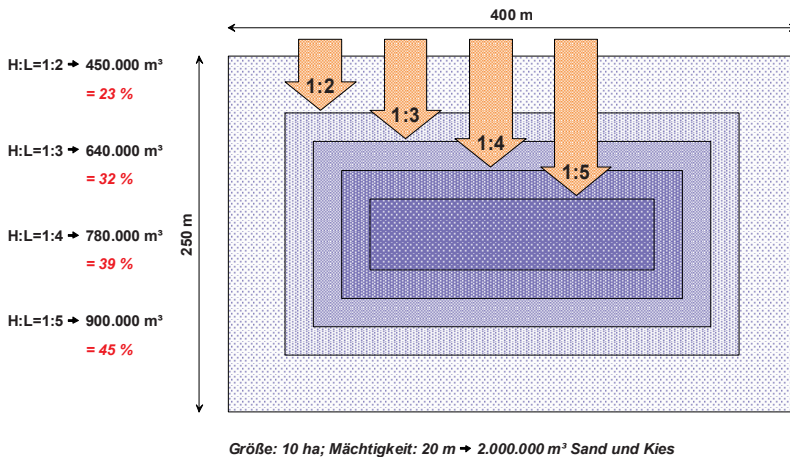


Abb. 3-74 Einfluss der Böschungsneigung auf die Höhe der Abbauverluste nach Langer¹¹³

Eine Böschung wird in einer Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes¹¹⁴ definiert als: "Geneigte Fläche, die bei der Gewinnung oder Verkipfung zwischen zwei Trennebenen unterschiedlicher Höhenniveaus entsteht."

Ein Böschungssystem wird beschrieben als: "...Ein aus zwei oder mehreren übereinander liegenden Böschungen gebildetes System mit den dazu gehörigen Trennebenen."

Das sich einstellende Böschungssystem bei Nassgewinnung von Sand und Kies wird untergliedert in (Abb. 3-73 und Abb. 3-75):

- Sicherheitsstreifen,
- Berme,
- Überwasserböschung,
- Wasserwechselzone und
- Unterwasserböschung.

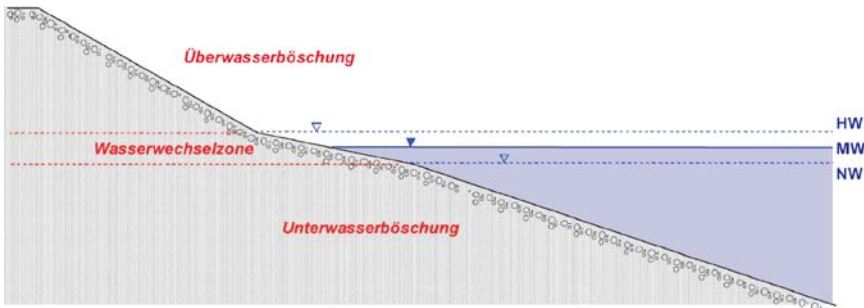


Abb. 3-75 Böschungssystem beim Abbau von Sand und Kies

Das in Abb. 3-75 dargestellte Profil ist ein Regelprofil. Häufig müssen, z.B. ökologische Planungen berücksichtigt werden, um Flachwasserzonen zu erstellen. Dann entsteht eine gebrochene Böschung mit beispielsweise folgenden Neigungen:

- GOK bis 2 m ü. mittl. Wasserspiegel: $H:L = 1:10$,
- 2 m ü. mittl. Wasserspiegel bis 5 m u. mittl. Wasserspiegel: $H:L = 1:5$,
- 5 m u. mittl. Wasserspiegel bis Liegendes: $H:L = 1:2,5$.

Ein Sicherheitsstreifen zu Nachbargrundstücken als Bauverbotszone im Sinne des Bundesfernstraßengesetzes (§9, FstrG, 1994) als auch beispielsweise des Niedersächsischen Straßengesetzes (§24, NstrG, 1980) ist einzuhalten. Im Hinblick auf die notwendige Vorgabe für den Baggertoleranzbereich wird darüber hinaus eine einzuhaltende zusätzliche Schutzzone als Berme bezeichnet.

Aus den jeweiligen planfestgestellten Vorgaben für das Böschungssystem ergeben sich die unvermeidbaren Abbauverluste.

Bei fehlender Berücksichtigung oder nicht ausreichender Bemessung des Sicherheitsabstandes können unter anderem auch durch Saugbaggerei hervorgerufene Bodensenkungen, durch Erdbeben induzierte Böschungsrutschungen oder durch Anstieg des Porenwasserdruckes bedingte Bodenverflüssigungen (Setzungsfließen) zu Schadensfällen mit erheblichen Rückgriffweiten in das Hinterland führen.

Die Überwasserböschung als terrestrischer Bereich gemäß DIN 4047-5 (1989) ist oberhalb der Wasserwechselzone ausgebildet und wird nach unten hin durch den Hochwasserstand des Gewässers zuzüglich der sog. Wellenaufauflöhe abgegrenzt. Die Wellenaufauflöhe ist vom Ausschuss für Küstenschutzwerke der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V.¹¹⁵ als diejenige Größe beschrieben, die sich als senkrechter Abstand zwischen dem höchsten Punkt

der Wellenaufkantung und dem Ruhewasserspiegel ergibt. Dabei wird der Ruhewasserstand als derjenige Wasserstand betrachtet, der sich beim Ausgleich von Wellenberg und Wellental ableitet.

Eine Bemessung von dauerhaft standsicheren Überwasserböschungen kann mit den in DIN 4084 angeführten Methoden, entgegen DIN 4084 u.U. auch unter Ansatz einer scheinbaren Kohäsion, erfolgen. Die Überwasserböschung ist i.d.R. steiler als die Wasserwechselzone und die Unterwasserböschung angelegt. Von Böttger¹¹⁶ wird hier als Grenze nach unten hin abweichend der mittlere Hochwasserstand zuzüglich der maximalen halben Wellenhöhe angesehen.

Die Wasserwechselzone als amphibischer Bereich nach DIN 4054 (1977) und DIN 4047-5 (1989) ist zwischen Überwasser- und Unterwasserzone ausgebildet und wird nach oben hin durch den Hochwasserstand zuzüglich der beschriebenen Wellenaufkantungshöhe sowie nach unten hin durch den Niedrigwasserstand abzüglich der halben signifikanten Wellenhöhe im Sinne von Schüttrumpf¹¹⁷ eingegrenzt. Eine Bemessung kann hier mit den in DIN 4084 beschriebenen Ansätzen im Hinblick auf die Vielfalt der dynamischen Einwirkungen keinesfalls erfolgen¹¹⁸.

Die Böschungsneigung im Bereich der Wasserwechselzone ist im Allgemeinen flacher als die der Überwasser- und Unterwasserböschung angelegt. Von Böttger¹¹⁹ wird hier als Grenze nach unten hin abweichend der mittlere Niedrigwasserstand abzüglich der maximalen halben Wellenhöhe angenommen.

Neben den Abbauverlusten entstehen unvermeidbare Gewinnungsverluste. Dabei handelt es sich um die Vorratsverluste, die durch die angewandte Gerätetechnik bedingt sind. Ist diese ausgewählt, haben die unvermeidbaren Gewinnungsverluste den Charakter von Abbauverlusten.

Die unvermeidbaren söhligen Gewinnungsverluste betragen erfahrungsgemäß Werte wie in Tabelle 3-22 aufgeführt.

Tabelle 3-22 Mittlere söhlige unvermeidbare Gewinnungsverluste

Bagger	Gewinnungsverluste [m]
Schneidkopfbagger	< 0,3
Eimerkettenbagger	< 0,5
Grundsaugbagger	< 0,7
Eimerkettenbagger landgestützt	< 1,5
Greifer	< 2,0

Bei fehlender Berücksichtigung oder nicht ausreichender Bemessung der Wasserwechselzone kann durch rückschreitende Erosion bei Wellenschlag eine sukzessive Verlagerung der Uferlinie mit der Anlage von nicht standsicheren Abbruchböschungen in Richtung auf benachbarte Grundstücke erfolgen (Abb. 3-76). Diesem Sachverhalt wird bei der Betrachtung

der Standsicherheit von Böschungen im Umfeld von Baggerseen bisher eine zu geringe oder überhaupt gar keine Bedeutung beigemessen.



Abb. 3-76 Wasserwechselzone

Die Unterwasserböschung als aquatischer Bereich gemäß DIN 4047-5 (1989) ist unterhalb der Wasserwechselzone ausgebildet und wird nach oben hin durch den Niedrigwasserstand abzüglich der halben signifikanten Wellenhöhe begrenzt. Eine Bemessung von dauerhaft standsicheren Unterwasserböschungen kann mit den in DIN 4084 genannten Methoden ebenfalls nicht oder nur hilfweise erfolgen. Die Unterwasserböschung ist i.d.R. flacher als die Überwasserböschung, aber steiler als die Wasserwechselzone angelegt.

3.8.2 Vorratsermittlung mit dem Planungssystem LAGER®

Mit Hilfe des Planungssystems LAGER® kann bezogen auf den Endzustand einer Nassgewinnung die Vorratsermittlung für eine Lagerstätte unter weitgehender Berücksichtigung der unterschiedlichen lagerstätten-, gewinnungsverfahrens- und gewinnungsgerätebedingten Einflussfaktoren bei einer standortabhängigen standsicheren Gestaltung von Wasserwechselzonen, von Unterwasserböschungen und evtl. erforderlichen Sicherheitsbermen vorgenommen werden.

Die maßgeblich auf die gewinnbaren Vorräte Einfluss nehmende jeweilige Gestaltung der Böschungen, insbesondere der Unterwasserböschungen, steht im Spannungsfeld konkurrierender Interessen. Zum einen müssen Unterwasserböschungen als Erdbauwerke im Sinne der DIN 4084

entsprechend dem Stand der Technik den Standsicherheitsanforderungen genügen. Zum anderen sprechen rohstoff-wirtschaftliche Aspekte für eine möglichst steile Ausbildung der Böschungen und hiermit zusammenhängend auch umweltpolitische Aspekte, um den schneller als notwendig fortschreitenden Flächenverbrauch infolge Aufschluss neuer Vorkommen zu reduzieren.

Um entsprechende Planungen auch unter Berücksichtigung der Vielzahl von Einflussgrößen und Zusammenhängen zukünftig zuverlässig vornehmen zu können, wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens das Planungssystem LAGER[®] entwickelt^{120, 84}. Dabei werden folgende Planungssituationen berücksichtigt:

- Gestaltung von Unterwasserböschungen bei kontrollierter Baggerung,
- Gestaltung von Unterwasserböschungen bei unkontrollierter Baggerung,
- Gestaltung von Wasserwechselzonen,
- Gestaltung von Bermen.

Bei der kontrollierten Baggerung werden die profilgerechte Baggerung und die Box-Cut-Baggerung betrachtet. Die Gestaltung von Bermen erfolgt unter Berücksichtigung von Baggertoleranzen, Suffusion und Erosion im Oberstrom bei Durchführung einer Saugbaggerung und des Auftretens von Böschungsabflachungen bei Erdbeben.

Für jede der Planungssituationen wurden ein gut strukturierter Planungsablauf und die zur Durchführung jeweils erforderliche Software entwickelt.

In Abb. 3-77 ist der Planungsablauf für den Fall der Gestaltung von Unterwasserböschungen bei unkontrollierter Baggerung dargestellt.

Im mittleren Teil (grüner Block) sind die Planungsschritte in ihrer Abfolge angegeben. Im rechten Teil (roter Block) sind anzuwendende Empfehlungen bzw. Regeln, Erfahrungswerte sowie Berechnungsgleichungen bzw. mathematische Modelle und (gelber Block) die entwickelte Datenbank gekennzeichnet. Im linken Teil (blauer Block) sind Eingangs- und Ausgangsdaten in ihrem Bezug zu den einzelnen Planungsschritten gekennzeichnet.

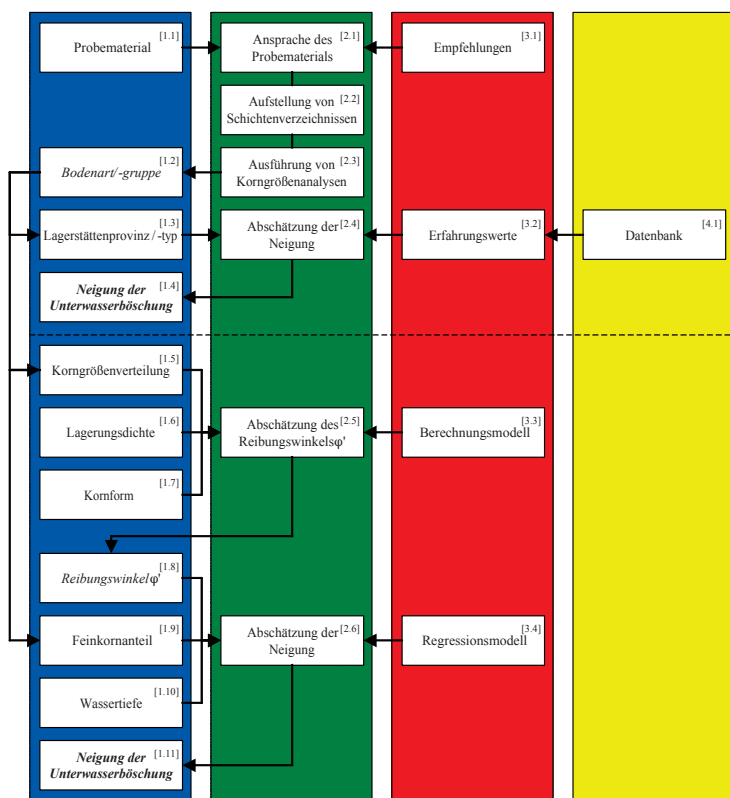


Abb. 3-77 Planungsablauf von LAGER[®] zur Gestaltung von Unterwasserböschungen bei Durchführung einer unkontrollierten Baggerung

Für die in Abb. 3-77 aufgeführten Empfehlungen, Pos. [3.1], werden die Angaben in ¹²¹ und ¹²² genutzt. Die Datenbank, Pos. [4.1], aus der Erfahrungswerte, [Pos.3.2], entnommen werden können, enthält Datensätze aus 126 Tagebauen, die im Zuge der Tätigkeit des Ingenieurbüros Dr.-Ing. V. Patzold, Holm-Seppensen, im Einzelnen vermessen und analysiert worden sind. Das Berechnungsmodell zur Abschätzung des Reibungswinkels, [Pos.3.3], ist an ¹²³ angelehnt. Das Regressionsmodell, Pos. [3.4], ^{120, 84}, weist mit guter statistischer Sicherheit die Abhängigkeit des erforderlichen Neigungswinkels der Unterwasserböschung vom Reibungswinkel des Bodens (und einem zugehörigen Sicherheitsbeiwert) und dem Feinkornanteil ($< 0,63$ mm) des Bodens aus.

4 Kies- und Sandprodukte

4.1 Petrographische Zusammensetzung von Lockergestein

Die Bestandteile einer Lagerstätte können nach mineralogischen, bzw. petrographischen Kriterien und nach der Gestalt ihrer Komponenten klassifiziert werden.

Eine Lockergesteinslagerstätte besteht aus einem Gemisch von Mineralkörnern und Gesteinsbruchstücken verschiedener Korngröße und Kornform sowie Oberflächenstruktur.

Wie in Kapitel 3 ausgeführt variiert das Spektrum an Mineralen und Korngrößen mit zunehmender Entfernung zum Liefergebiet aufgrund von Sortierungs-, Zerstörungs- und Lösungsvorgängen. Während am Oberrhein beispielsweise hohe Körnungsanteile, große Lagerstättenmächtigkeiten von bis zu 140 m und große Anteile an Material > 32 mm vorliegen, trifft man am Niederrhein, also mehrere 100 km weiter von den Liefergebieten entfernt, auf geringer mächtige Lagerstätten von bis zu 20 m Mächtigkeit und einen deutlich geringeren Körnungsanteil mit oftmals < 32 mm Korngröße.

Die häufigsten Mineralkörner des Rheingebietes bestehen in absteigender Reihenfolge und analog zu ihrer Druckfestigkeit aus:

- Quarz,
- Feldspäten,
- Glimmern,
- Tonmineralen,
- Schwermineralen.

An Gesteinsbruchstücken werden angetroffen:

- kieselige Gesteine (Chert und Flint),
- metamorphe Gesteine,
- Vulkanite und Plutonite,
- Tonschiefer,
- Kalkstein.

Die petrographische Zusammensetzung von Nordseekies, die die skandinavische Herkunft dokumentiert, ist beispielsweise in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tabelle 4-1 Gesteinszählung einer Kiesprobe aus der Nordsee

Sorte	Stück	Stück	Stück, schillfrei gerechnet
		[%]	[%]
Granite, Diorite etc.	467	45,6	48,0
Porphyre	10	1,0	1,0
Metamorphite	2	0,2	0,2
Quarzitische Sandsteine	35	3,4	3,6
Kalksteine	21	2,0	2,2
Flinte	214	20,9	22,0
Quarze, Restquarze	198	19,3	20,3
Muschelschalen	58	5,1	---
Andere	26	2,5	2,7
Σ	1025	100	100

Je nach Bruch- und Lösungsbeständigkeit nimmt auch die Vielfältigkeit an Gesteinsbruchstücken beim Transport ab. Grundsätzlich ist ein kieseliges, also SiO_2 - bzw. quarzreiches Gestein immer beständiger, während Kalkstein schon relativ früh aussortiert wird. Aufgrund ihrer Zusammensetzung bzw. dem Gehalt an Gesteinsbruchstücken und Mineralkörnern lassen sich Lockergesteine in Bezug auf ihre kompositionelle Reife unterscheiden, d.h. je höher z.B. der Quarzgehalt eines Sandes ist, desto reifer ist er.

4.2 Produkte

Kies- und Sandprodukte sind im Gegensatz zu Recyclingbaustoffen oder industriellen Nebenprodukten sog. klassische Baustoffe¹²⁴. Eine Klassifizierung der mineralischen Baustoffe ist in Tabelle 4-2 vorgenommen.

Die Anwendungsvielfalt des Produktes Sand sei am Beispiel des Mörtels verdeutlicht: Mörtel ist eine Gemisch aus Sand und Bindemittel, wie Zement, Kalk, Gips oder Kunststoff. Es werden die aufgelisteten acht Mörtelarten unterschieden (Tabelle 4-3).

Entsprechend der großen Verwendungsmöglichkeit der Grundstoffe Sand und Kies, auch der hochreinen Quarzsande, wurde ein umfangreiches Regelwerk entwickelt¹²⁵. Die relevanten DIN-Normen, die Normen der Deutschen Bahn, die Technischen Lieferbedingungen (TL), die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV) sind im Anhang 1 aufgelistet^{55, 126}.

Tabelle 4-2 Einteilung und Merkmale mineralischer Baustoffe

MINERALISCHE BAUSTOFFE					
Primärbaustoffe				Sekundärbaustoffe	
Festgestein		Lockergestein		Recycling-Baustoffe	industrielle Nebenprodukte
Hartgestein	Weichgestein	Rollig		Bindig	
		Blöcke			Schlacken
		Rundkorn	Steine	Schluff	Waschberge Flugaschen
			Kies	Ton	
			Sand		
		Breckkorn	Schotter	Asphalt- aufbruch	Müllverbren- nungsschlacken
			Split		Eisenhütten- schlacken
			Brechsand	Bauschutt	Kupfer- schlacken
			Mehlkorn	Altglas	
			Füller	Ziegel	

Gesteinskörnungen von Kies und Sand werden unterteilt in:

- natürliche Körnungen,
- künstliche Körnungen (nach Aufbereitung und ggf. nach Zerkleinerung zu Fraktionen zusammengesetztes Material).

Als Fraktionen werden Korngemische in verschiedenen Korngrößen, z.B. 0/2, 2/8, 8/16 oder 16/32 mm bezeichnet. Die beiden Zahlen in der Bezeichnung geben die Größe des unteren und oberen Prüfkorns an, das in einem zulässigen Maß an Über- und Unterkorn nicht überschritten werden darf.

Bei der Nassgewinnung von Kies und Sand handelt es sich um den Abbau natürlicher Gesteinkörnungen, die im Rohzustand nur sehr selten den industriellen Anforderungen genügen. Zusammenfassend sind die Anforderungen, Vorschriften und Überwachung von Kies- und Sandprodukten in einer Schrift des Bundesverbandes Kies und Sand¹²⁷ dargestellt. In verschiedenen Vorschriften und Normen werden Körnungen unterschiedlich definiert (Tabelle 4-4).

Die Regelanforderungen an die Eigenschaften solcher Gesteinskörnungen sind nach DIN 4226-1 genormt. Die DIN 4226 und deren europäische Erweiterungen sind das wichtigste Regelwerk für Betonzuschlag.

Tabelle 4-3 Mörtelarten nach Koenler ⁵⁵

Typ	Unterscheidung nach	Art	Korngröße [mm], Kornanteile [Ma.-%]		Bindemittel	DIN		
			< 0,063	0,06-0,5		Prüfung DIN 18555		
Mörtel			< 5%	< 10-40%	Zement Kalk	Druckfestigkeit DIN 1053		
Mauermörtel			< 5%	5-15%	Gips	Arten DIN 18550		
Putzmörtel						Kalk	Kornverteilung. DIN 1045	
						Zement	Feuerwiderstand DIN 4102	
Verlegemörtel						Zement, Kunststoff, Feinsande		
Vergussmörtel						Zement, Zusatzmittel	Zuschlag DIN 4226	
Einpressmörtel						Einpressmörtel	Zement Sand	Anforderungen DIN 4227
						Injektionsmörtel	Zement Kunstharze	
Fugenmörtel		Zement, Kunststoff, Feinsande						
Estrichmörtel						< 3%	< 70% < 2 mm	
	Ausführung	Verbundestrich			Zement	Festigkeit DIN 18560		
		Schwimmender Estrich						
		Heizestrich						
	Konsistenz	erdfeuchter						
		pumpbarer						
		Fließestrich						
	Bindemittel	Zement						
		Anhydrit						
		Magnesia						
		Gussasphalt						
	Verschleiß	Kunstharz						
Hartstoffestrich								
	Industrieestrich							

Tabelle 4-4 Einteilung der Gesteinsgrößen in Gesteinskörnungen (Fraktionen) im Beton- und Straßenbau

Prüfkorn- größe [mm]	DIN 4022	DIN 4226	TL Min StB83	DIN 18196
>2000,0	Blöcke			
2000,0	große Steine			
630,0	mittlere Steine			
200,0	kleine Stei- ne			
63,0	Grobkies	Schotter > 32	Kies 2/63	
56,0		Grobkies > 32	Schotter 32/56	
32,0		Kies/Split 4/32	Split 0/32	
20,0	Mittelkies			Kies 2/63
6,3	Feinkies			
5,0			Brechsand 0/5	
4,0		Natursand 0/4		
		Brechsand 0/4		
2,0	Grobsand		Natursand 0/2	
1,0		Feinsand 0,25/1		
0,630	Mittelsand			
0,250		Feinstsand < 0,25		Sand 0,063/2
0,200	Feinsand			
0,090			Füller 0/0,09	
0,063	Grobschluff			
0,020	Mittel- schluff			
0,00630	Feinschluff			
0,00200	Grobton			Schluff 0,002/0,063
0,00063	Mittelton			
< 0,0002	Feinton			Feinstkorn 0/0,002

Die DIN schreibt detailliert Grenzwerte vor für ¹²⁸:

- Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen,
- Kornzusammensetzung einschließlich des Gehalts an Über- und Unterkorn der jeweiligen Fraktion,
- Kornform von Rundkorn und Edelsplitt,
- Festigkeit,
- Widerstand gegen Frost und Taumittel,
- Anteil schädlicher Bestandteile, fein verteilten Bestandteilen organischen Ursprungs sowie quellfähigen Bestandteilen organischen Ursprungs,

- Gehalt an wasserlöslichem Chlorid,
- Gehalt an Sulfaten.

Die erforderlichen Eigenschaften von Gesteinskörnungen sind in der Tabelle 4-5 aufgelistet.

Bei der Planung von Vorhaben zur Gewinnung und Aufbereitung von Lockergestein sind Entscheidungen über das wirtschaftlich optimale Produktprogramm zu treffen. D.h. ausgehend von den durch eine qualifizierte Erkundung gewonnenen Informationen über die Beschaffenheit der abbaubaren Vorräte sind Aussagen über die im wirtschaftlich optimalen Fall herzustellenden Kies- und Sandprodukte unter Berücksichtigung der Produktnormen zu treffen und hierbei ökologische Forderungen zu erfüllen. Diese betreffen in diesem Teil der Planungsphase vorrangig die möglichst vollständige Verwertung des Vorkommens.

Bei Produktion von reinen Körnungen als Zuschlagstoff für die Betonindustrie beispielsweise fallen oftmals Überschussmengen an Sand an, die häufig, obwohl gewonnen, gefördert und aufbereitet, ohne weitere Verwendung oder Verwertung im Abbau wieder verkippt werden. Schon im Zuge der Planung sollte deshalb nach Durchführung einer Marktstudie zusätzlich zu den herkömmlichen Abnehmern wie Transport- oder Fertigteilbetonwerken oder aus dem Tief-, Straßen- und Erdbau nach alternativen Märkten gesucht und die Aufbereitungsanlage entsprechend konfiguriert werden.

Im Zusammenhang mit den zuvor erwähnten überschüssigen Sanden kann dies beispielsweise durch Einrichtung einer Feinsandaufbereitung erfolgen, mittels derer die Sandfraktion 0/2 weiter klassiert wird und spezielle, dem Kundenwunsch entsprechende Fraktionen mit bestimmten Körnungsanteilen hergestellt werden. Um diese Fragestellung zu lösen, gibt es heute entsprechende Software. Eine davon ist das Planungssystem PROPLAN[®].

Auch wenn man berücksichtigt, dass in dem jeweiligen speziellen Planungsfall die Herstellung bestimmter, von den Produktnormen her zulässigen Produkte, a priori ausgeschlossen werden kann, verbleibt im Allgemeinen eine außerordentlich große Vielfalt alternativer Produktprogramme, aus der die optimale Variante und gegebenenfalls auch in der Nähe des Optimums liegende Alternativen zu bestimmen sind.

Tabelle 4-5 Eigenschaften von Gesteinkörnungen nach DIN 4226-1 nach Riechers¹²⁹

Eigenschaften	Anforderungskategorien		Regel Anforderungen	
Kornzusammensetzung	feine Gesteinskörnung	Grenzabweichungen für die vom Hersteller angegebene typische Kornzusammensetzung	Nach Tafel 4 von DIN 4226-1	
	grobe Gesteinskörnung	eng gestuft	15 Ma.-% Überkorn (G_{D85}); 20 Ma.-% Überkorn (G_{D80})	G_{D85}
		weitgestuft	10 Ma.-% Überkorn (G_{D80})	G_{D90}
	Korngemisch	10 Ma.-% Überkorn (G_{D90}); 15 Ma.-% Überkorn (G_{D85})		G_{D90}
Kornform	Plattigkeitskennzahl; Anteil ungünstig geformter Körper $\leq 15\%$ (Fl_{15}); 20 % (Fl_{20}); 35 % (Fl_{35}); 50 % (Fl_{50}); keine Anforderung (Fl_{NR})		FL_{50}	
Muschelschalengehalt	Muschelschalengehalt für grobe Gesteinskörnungen darf 10 Ma.-% nicht übersteigen			
Feinanteile [Höchstwerte für den Gehalt an Feinanteilen $\leq 0,063$ mm in Ma.-%]	feine Gesteinskörnung	4(f_4); 10 (f_{10}); 16 (f_{16}); 22 (f_{22}); keine Anforderung (f_{NR});	f_4	
	grobe Gesteinskörnung	1,0 ($f_{1,0}$); 1,5 ($f_{1,5}$); 4 (f_4); keine Anforderung (f_{NR});	$f_{1,0}$	
	Korngemisch	2 (f_2); 11 (f_{11}); keine Anforderung (f_{NR});	f_2	
Frostwiderstand	zulässiger Masseverlust in % nach Frostversuch in Wasser: ≤ 1 (F_1); ≤ 2 (F_2); ≤ 4 (F_4); keine Anforderung (f_{NR})		F_4	
Chloridgehalt	Höchstwerte für den Gehalt an wasserlöslichen Chloridionen in Ma.-%: 0,02 ($Cl_{0,02}$); 0,04 ($Cl_{0,04}$); 0,15 ($Cl_{0,15}$);		$Cl_{0,04}$	
Schwefelhaltige Bestandteile	säurelöslicher Sulfatgehalt SO_3 in Ma.-%	$\leq 0,2$ ($AS_{0,2}$); $\leq 0,8$ ($AS_{0,8}$)	$AS_{0,8}$	
	Gesamtschwefelgehalt	≤ 1 Ma.-%		
Organische Stoffe	Natronlaugenversuch, Prüfung auf Fulvosäure oder Versuch mit Vergleichs-Mörtelprismen			
Leichtgewichtige organische Verunreinigungen [Höchstwert in Ma.-%]	feine Gesteinskörnung	$\leq 0,50\%$ ($O_{0,50}$); $\leq 0,25\%$ ($O_{0,25}$)	$O_{0,50}$	
	grobe Gesteinskörnung und Korngemische	$\leq 0,10\%$ ($O_{0,10}$); $\leq 0,05\%$ ($O_{0,05}$)	$O_{0,10}$	

Diese Aufgabenstellung konnte bisher nicht befriedigend gelöst werden. Üblicherweise wird so vorgegangen, dass auf Erfahrung und Intuition des jeweiligen Planers gestützt eine begrenzte Anzahl von Produkten berück-

sichtigt wird, die direkt durch ein Betonwerk vorgegeben oder generell als auf dem Markt absetzbar angesehen werden. Mit dieser Vorgehensweise kann die wirtschaftlich optimale Lösung i.d.R. nicht gefunden werden. Diese Aussage kann nicht nur aus der generellen Sicht auf die Problemstellung und bisherige Vorgehensweisen getroffen werden. Es konnte inzwischen durch konkrete Fallstudien auch nachgewiesen werden, dass mit Anwendung der im Folgenden dargestellten Methodik und der entsprechenden Software wirtschaftlich und ökologisch deutlich günstigere Lösungen für die zu realisierenden Produktprogramme ermittelt werden können und damit auch eine qualifiziertere Grundlage für die technische und wirtschaftliche Planung der jeweiligen Aufbereitungsanlagen bereitgestellt wird.

4.3 Produktprogrammplanung mit dem Planungssystem PROPLAN®

Durch die Produktprogrammplanung ist für eine gegebene Rohstoffsituation und gegebene technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen das optimale Produktprogramm, gekennzeichnet durch die im Optimalfall herzustellenen Produktarten, Produktmengen und Produktzusammensetzungen zu bestimmen.

Wegen der Vielzahl zu berücksichtigender Einflussgrößen und Zusammenhänge handelt es sich hierbei um ein komplexes Problem, zu dessen erfolgreicher Bearbeitung eine effektiv strukturierte Vorgehensweise und der Einsatz entsprechender Software erforderlich sind. Der in Abb. 4-1 dargestellte Vorgehensplan und das Softwaresystem PROPLAN® wurden mit dieser Zielsetzung im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickelt^{130, 131, 132} und zwischenzeitlich mehrfach für industrielle Aufgabenstellungen erfolgreich angewendet. Die Bedieneroberfläche von PROPLAN® mit der implementierten Menüführung ist so gestaltet, dass der Anwender dem Vorgehensplan gemäß Abb. 4-1 folgen kann.

Bei der Festlegung der Projektbedingungen sind folgende Einflussgrößen zu fixieren:

- Rohstoffspezifikation und spezifische Rohstoffkosten,
- Produktspezifikationen, geforderte Minimalmengen und zulässige Maximalmengen einzelner Produkte sowie spezifische Erlöse,
- spezifische Kosten für verschiedene Varianten der Aufbereitung,
- spezifische Entsorgungskosten für Reststoffe und
- spezifische Kosten für zukaufbaren Rohstoff.

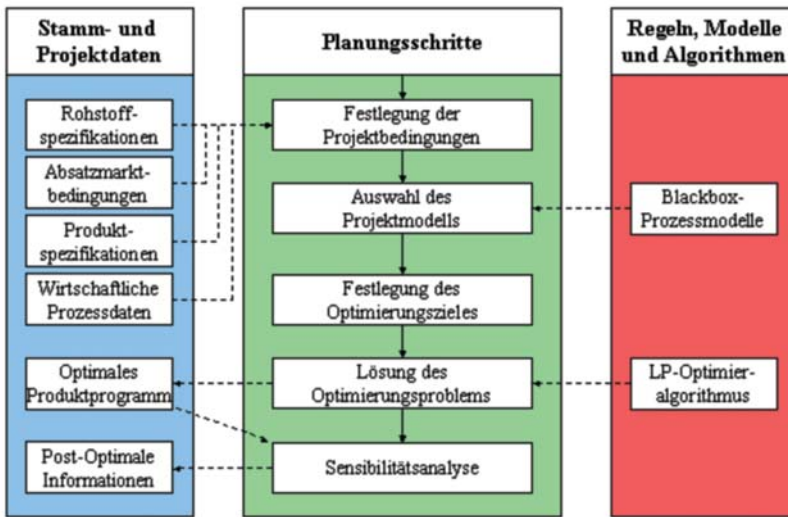


Abb. 4-1 Planungsablauf von PROPLAN® zur Produktprogrammplanung

Zur Spezifikation der Produkte verfügt PROPLAN® über eine (auch erweiterbare) Datenbank für die Eigenschaften von Gesteinskörnungen entsprechend den gültigen Normen. Dabei werden auch die zulässigen Toleranzen berücksichtigt.

Die Aufbereitungsprozesse werden durch Zugriff auf die Modellbibliothek mit Black-Box-Modellen beschrieben. Dabei kann die Aufbereitung durch reine Klassierung, durch Klassierung und Zerkleinerung und zwar jeweils ohne oder mit Einsatz von Zusatzmaterial berücksichtigt werden. Die Modelle basieren auf den Massenbilanzen von Korngrößenfraktionen und einfachen Koeffizientenansätzen für Klassierung und Zerkleinerung. Weiterhin notwendige Aufbereitungsschritte, wie z.B. Sortierung und Fest-Flüssig-Trennung werden zunächst noch nicht berücksichtigt, da anfangs nur die Möglichkeiten, die sich aufgrund der Körnungen ergeben, betrachtet werden.

Bei der Festlegung des Optimierungszieles können unterschiedliche Varianten verfolgt werden. Wird die möglichst weitreichende quantitative Nutzung der Lagerstätte angestrebt, so kann der Rohstoffverwertungsgrad als Optimierungskriterium ausgewählt werden. Im Hinblick auf ein bestmögliches wirtschaftliches Ergebnis können die Optimierungskriterien

- Gewinn oder
- Kapitalwert

verwendet werden. Weitere Optimierungskriterien könnten vom Benutzer im Bedarfsfall definiert werden.

Das System ermöglicht auch die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer konkurrierender Zielgrößen, wie z.B. des Rohstoffverwertungsgrades und des Gewinns. Die sich ergebenden Kompromisslösungen können aufgrund der Effizienz des gesamten Systems sehr schnell ermittelt werden und geben dem Anwender einen vertieften Einblick in die vorliegenden Zusammenhänge. Insbesondere kann dann erkannt werden, inwieweit die Verfolgung eines Optimierungszieles jeweils mit nachteiligen Konsequenzen für das konkurrierende Ziel verbunden ist.

Die zur Formulierung des Gewinns oder des Kapitalwertes erforderlichen spezifischen Kosten und Erlöse sind vom Anwender einzugeben. Erfahrungs- bzw. Richtwerte enthält die Datenbank des Systems. Bei den spezifischen Aufbereitungskosten müssen nun auch die über Klassierung und Zerkleinerung hinausgehenden Kosten für zusätzliche Aufbereitungsschritte (s.o.) berücksichtigt werden.

Für die Lösung des vorliegenden linearen Optimierungsproblems wird ein kommerziell verfügbares LP (Linear Programming)-System eingesetzt.

Als Ergebnis erhält man die Gesamtheit der technischen und wirtschaftlichen Daten, die in dieser Planungsphase für eine Beurteilung des Vorhabens von Interesse sind.

Wenn man ein LP-System verwendet, dass sog. postoptimale Analysen/Sensibilitätsanalysen ermöglicht, so können ohne nennenswerten Mehraufwand zusätzliche Informationen gewonnen werden, die für eine Qualifizierung der Aussagen von großer Bedeutung sind. So kann z.B. dargestellt werden, wann bzw. welche Konsequenzen aus Unsicherheiten in spezifischen Kosten und Erlösen entstehen. Dabei kann man auch den gleichzeitigen Einfluss mehrerer unsicherer Größen erfassen. Es kann weiterhin deutlich gemacht werden, inwieweit die Vorgaben zu Mindest- und Höchstmengen für Produkte oder auch Veränderungen der Toleranzen bei den Produktspezifikationen das Optimierungsergebnis beeinflussen. Auch der Einfluss eines eventuellen Rohstoffzukaufs und weiterer Optionen können transparent gemacht werden. Die Nutzung dieser Möglichkeiten des Softwaresystems erfordert allerdings schon entsprechende Erfahrungen.

4.4 Fallbeispiel: Produktprogrammplanung für ein Kieswerk

Das nachfolgend behandelte Planungsproblem ist gegenüber der betreffenden realen Situation vereinfacht worden, um den Umfang der Darstellung zu begrenzen.^{131, 132}

Es steht eine Lagerstätte mit einem gewinn- und nutzbaren Lagerstätteninhalt von 3,5 Mio. t zur Verfügung. Die Beschaffenheit des Rohstoffes bezüglich der Korngrößenverteilung ist in Abb. 4-2 dargestellt. Es liegt ein Schwankungsbereich der Korngrößenverteilung vor. Im Rahmen der Produktprogrammplanung wird mit der angegebenen mittleren Verteilung gerechnet.

Im Rohstoff liegen Begleit- bzw. Schadstoffe vor, deren Abtrennung nachfolgend im Rahmen der Werte für die spezifischen Aufbereitungskosten berücksichtigt wird.

Die verkaufbare Gesamtproduktmenge wird auf $P_{\text{ges}} = 200.000 \text{ t/a}$ eingeschätzt, sodass mit einer Nutzungsdauer von $N = 18$ Jahren zu rechnen ist.

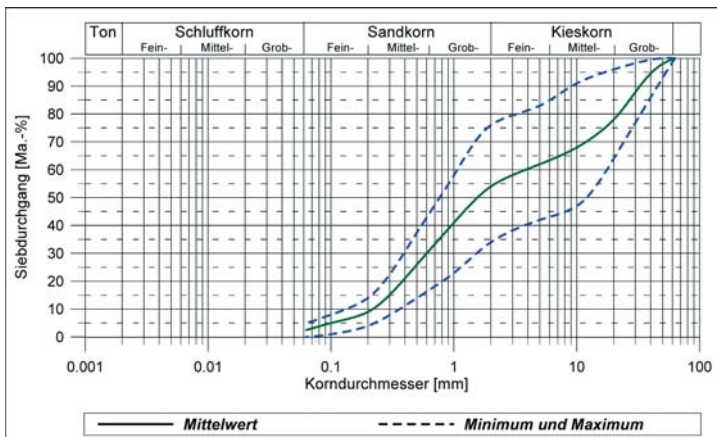


Abb. 4-2 Korngrößenverteilung des Fallbeispiels (Restkiesgewinnung am Oberrhein bei Freiburg)

Die absetzbaren Produktsorten mit den zulässigen Minimal- und Maximalwerten der Mengen und den erzielbaren spezifischen Erlösen sind in Tabelle 4-6 aufgeführt.

Tabelle 4-6 Minimale und maximale Verkaufsmengen für Kiessandprodukte der Lagerstätte

Produkt nach DIN 4226		spezifische Erlöse e_i	minimale Produktion P_i^u	maximale Produktion P_i^o
Nr. i		€/t	t/a	t/a
1	0/1	5,40	0	25.000
2	0/2	6,90	20.000	120.000
3	2/8	7,20	0	30.000
4	8/16	6,50	0	30.000
5	16/32	6,80	0	30.000
6	32/45	5,50	0	35.000

Die spezifischen Kosten, auch gestützt durch Erfahrungswerte, betragen:

- Rohstoffkosten frei Aufbereitungsanlage 2,00 €/t,
- Aufbereitungskosten (ohne Zerkleinerung) 1,50 €/t,
- Entsorgungskosten für Reststoffe 0,50 €/t,
- Kosten für Zerkleinerung 1,20 €/t.

Tabelle 4-7 Zukaufkosten der Fraktionen

Partikelgrößenfraktionen			k_j^Z
Kornklasse j		Korngröße [mm]	€/t
1 bis 8		zwischen 0 und 2	6,85
9 bis 15		zwischen 2 und 5	7,10
16 bis 23		größer als 8	6,70

Der mögliche Zukauf von Fraktionen wird mit den in Tabelle 4-7 aufgeführten spezifischen Zukaufskosten berücksichtigt. Eine mengenmäßige Beschränkung besteht nicht.

Bei der Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms wird die Maximierung des wirtschaftlichen Ergebnisses als primäres und die Maximierung der Rohstoffverwertung als sekundäres Ziel verfolgt.

Es sollen folgende Fälle betrachtet werden:

- Die Produktion erfolgt durch Rohstoffaufbereitung ohne Zerkleinerung.
- Die Produktion erfolgt durch Rohstoffaufbereitung ohne Zerkleinerung aber mit optionalem Zukauf.
- Die Produktion erfolgt durch Rohstoffaufbereitung mit Zerkleinerung.

Die Anwendung von PROPLAN[®] für Fall A liefert die in Tabelle 4-8 dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 4-8 Optimales Produktprogramm für den Fall A

Produkt		Jahresproduktion P_i	Erlöse E_i^p
Nr., i	nach DIN 4226	t/a	€/a
1	0/1	0	0
2	0/2	105.367	727.032
3	2/8	30.000	216.000
4	8/16	7.626	49.569
5	16/32	30.000	204.000
6	32/45	27.007	148.539

Das wirtschaftliche Ergebnis liegt bei $G = 645.140$ €/a. Es wird eine vollständige Verwertung des Rohstoffes erreicht, d.h. es liegt keine Konkurrenzsituation zwischen der Maximierung des wirtschaftlichen Ergebnisses und der Rohstoffverwertung vor.

Die postoptimale Analyse ergibt unter anderem, dass

- eine Erhöhung der maximal zulässigen Herstellmenge von Produkt 3 zu einer Ergebnisverbesserung um 0,46 €/t und von Produkt 5 um 0,30 €/t führen würde und
- das Produkt 1 ab einem spezifischen Erlös von 6,90 €/t im optimalen Produktionsprogramm enthalten wäre.

Die Betrachtung von Fall B ergibt verständlicherweise, dass kein Bedarf bezüglich Materialzukauf besteht, da bereits im Fall A eine vollständige Rohstoffverwertung erreicht ist und die Zukaufkosten der Fraktionen im Vergleich zu den Produkterlösen relativ hoch sind. Durch eine postoptimale Analyse könnte festgestellt werden, wie weit die Zukaufkosten fallen müssten, um eine Verbesserung des wirtschaftlichen Gesamtergebnisses zu erreichen.

Im Fall C wird die vollständige oder teilweise Zerkleinerung der groben Kornfraktionen (16 mm bis 63mm) berücksichtigt. Die Betrachtung der Zerkleinerung ist trotz der im Fall A bereits erreichten vollständigen Verwertung sinnvoll, da durch Zerkleinerung u.U. eine Verschiebung des Produktspektrums zugunsten höherwertiger Produkte erreicht werden kann.

Zur Bestimmung der zu zerkleinernden Fraktionsmengen wird eine Variantenstudie durchgeführt. Dabei wird die Zusammensetzung des Aufgabegutes der Zerkleinerung aus der Korngrößenverteilung des Rohstoffes ermittelt, indem das Aufgabegut, ausgehend von der oberen Grenze der Korngrößenverteilung mengenmäßig in 10 %-Schritten bis zu 100 % der Fraktionen ≥ 16 mm verändert wird.

Das Ergebnis dieser Variantenstudie ist, dass die Zerkleinerung der Fraktionen ≤ 32 mm keinen Vorteil für das Produktionsprogramm bringt. Das rechnerisch maximale Ergebnis wird bei den gegebenen Zerkleinerungskosten von 1,20 €/t mit der vollständigen Zerkleinerung des Materials ≥ 32 mm (Massenstrom 25.600 t/a) erreicht. Dabei ergibt sich dann das optimale Produktprogramm gemäß Tabelle 4-9.

Tabelle 4-9 Optimales Produktprogramm für den Fall C

Produkt		Jahresproduktion P_i	Erlöse E_i^p
Nr. i	nach DIN 4226	t/a	€/a
1	0/1	0	0
2	0/2	117.404	810.088
3	2/8	30.000	216.000
4	8/16	22.596	146.874
5	16/32	30.000	204.000
6	32/45	0	0

Das wirtschaftliche Ergebnis liegt dann rechnerisch bei $G = 646.242$ €/a. Die durch Zerkleinerung erreichbare Verbesserung ist hiernach nicht signifikant. Man würde demnach bei der gegebenen Datenlage auf die Zerkleinerung verzichten. Zu erinnern ist allerdings daran, dass bisher mit einer mittleren Korngrößenverteilung des Rohstoffes gerechnet wurde, sodass eine Flexibilitätsanalyse noch erforderlich ist.

5 Nassgewinnung

Im Folgenden wird die Nassgewinnung beschrieben und am Beispiel des Abbaus von Sand und Kies erläutert.

Die Betriebsbereiche eines oberflächennahen Nassbergbaus auf Kies und Sand (Abb. 5-1) sind

- der Abbau,
- die Aufbereitung und der Vertrieb.

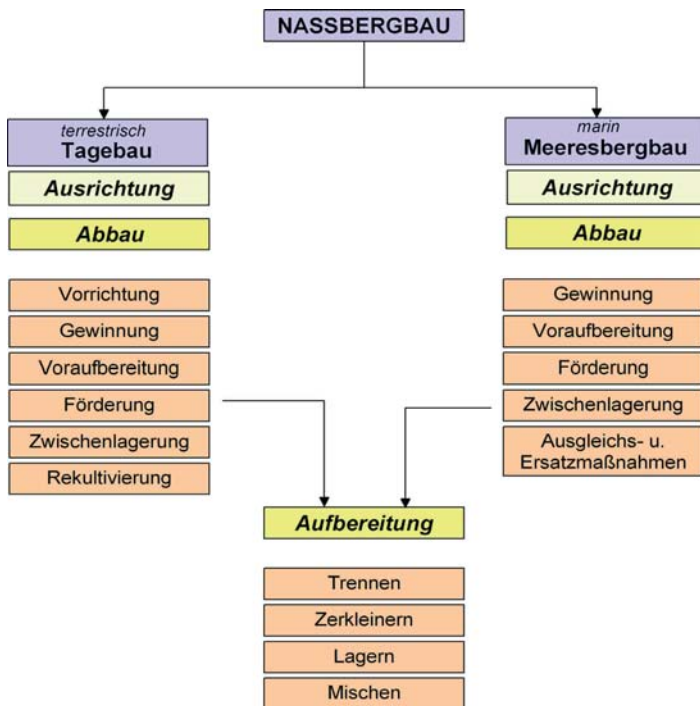


Abb. 5-1 Prinzipielle Untergliederung eines Nassbergbaus in technische Betriebsbereiche und -stellen

Grundsätzlich sind für einen Abbau drei Phasen mit unterschiedlichen Inhalten von Bedeutung, die neben der Anforderung an die technischen

Belange auch erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen insbesondere mit Hinblick auf den Finanzmittelbedarf (Kapitel 7) haben. Es wird unterschieden in:

- Vorrichtungsphase,
- Gewinnungsphase (Regelbetrieb),
- Rekultivierungsphase.

Der Regelbetrieb Gewinnung wird durch das Abbausystem und die Abbauführung bestimmt.

Das Abbausystem wird aus den Elementen der verschiedenen Geräte für Gewinnung und Förderung bis zur Aufbereitungsanlage bzw. Deponie gebildet. Voraufbereitung, Entwässerung oder Zwischenlagerbetrieb können in diese Geräteketten eingeschaltet sein.

Die Abbauführung beschreibt die räumliche Veränderung des Abbausystems in der Lagerstätte.

Die Nassgewinnung erfolgt als hauptsächliche Tätigkeit im Betriebsbereich Abbau. Der bereits ausgerichtete Betriebsbereich Abbau untergliedert sich in die Betriebsstellen

- Vorrichtung,
- Nassgewinnung,
- Förderung,
- Voraufbereitung,
- Zwischenlagerung und
- Rekultivierung,

der Betriebsbereich Aufbereitung in

- Trennen,
- Zerkleinern,
- Lagern und
- Mischen.

Auf die Aufbereitung von Kies und Sand wird in Kapitel 6 eingegangen.

Der Betriebsbereich Vertrieb umfasst das Vertreiben der Produkte einschl. Qualitätskontrolle, Disposition der Transportmittel, bestellungsgemäßes Verladen, Verwiegen und Lieferscheinaustellung.

5.1 Ausrichtung

Unter Ausrichtung werden die Arbeiten zur Vorbereitung des Tagebaubetriebs einschließlich Aufschluß der Lagerstätte bis zum Beginn der Gewinnung verstanden.

Zur Ausrichtung des Abbaufeldes können im Wesentlichen folgende Aufgaben gehören:

- Herstellen der Infrastruktur und Anschluss des Betriebsgeländes an das Verkehrsnetz, Anschluss des Abbaufeldes an die öffentliche Zuwegung sowie Umlegung von Verkehrswegen innerhalb des Abbaufeldes,
- Freimachen des Geländes von Bewuchs, ggf. Abriß von baulichen Anlagen, Beseitigung von Deponien oder sonstigen anthropogenen Einträgen,
- Munitionsfreimachung,
- Abtrag von Mutterboden und Aufsetzen in Mieten,
- Bergung archäologischer Funde,
- Anschluss des Abbaufeldes an Vorfluter bzw. Umlegung der Vorfluter, falls diese im Zuge des Abbaues getrennt werden,
- Anbindung an die erforderlichen Versorgungsleitungen (Strom, Wasser, Gas),
- Anschluss an öffentliche Entsorgungssysteme (Regenwasser, Schmutzwasser),
- Bodenmanagement Abraum,
- Montage und Aufstellen des Abbausystems (Geräte für Gewinnung und Förderung von Abbaustelle bis Aufbereitungsanlage),
- Sicherung des Abbaufeldes gegen unbefugtes Betreten.

Der Aufschluß sollte minimale Ausdehnung haben, da in diesem Abschnitt der Ausrichtungsphase kaum Erlöse erzielt werden. Ziel der Planung dieser Phase ist, den Aufschluß unter Berücksichtigung der zukünftigen Abbauführung so zu planen, dass möglichst wenig Abraum bewegt und damit der Rohstoff schnell angetroffen wird.

Zur Ausrichtung gehört insbesondere auch das Herstellen der Baugrube für das Einschwimmen des Schwimmbaggers und der sonstigen für die Förderung von Bagger bis Landübergang erforderlichen Betriebsmittel, sofern diese nicht über den Wasserweg antransportiert und eingesetzt werden können. Wichtig ist bei der Auslegung der Startgrube die Sicherung eines ausreichenden Grundwasserzuflusses, so dass die Erweiterung des Einschwimmloches mit dem Gerät selbst nicht zu extrem großem Zeitaufwand infolge Wassermangel führt¹³³. Entsprechende hydrogeologische Untersuchungen sind im Zuge der Erkundung auszuführen.

Anhand der Erkundungsergebnisse ist weiter zu beurteilen, ob der Abraum selektiv zu gewinnen und außerhalb des Abbaufeldes, z.B. in dessen seitlichen Begrenzungswällen, zu lagern ist oder ob er beispielsweise wegen seines hohen Sandanteiles mit hereingewonnen, aufbereitet und verwertet werden soll.

Im Falle selektiver Gewinnung müssen ausreichend Lagermöglichkeiten gegeben sein, die keine zu großen Transportentfernungen erfordern. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Lagerung innerhalb des Abbaufeldes erfolgt und der Abraum nur zwischengelagert wird, um mit fortschreitendem Abbau zur Böschungsstabilisierung oder Rekultivierung (Anlage von Flachwasserzonen) wieder verkippt zu werden.

5.2 Betriebsstelle Vorrichtung

Zur Vorrichtung des Abbaus gehören die Arbeiten, die für die laufende Durchführung der Gewinnung notwendig werden. Dazu gehört neben der vorausseilenden Baufeldfreimachung das Bodenmanagement von Mutterboden und Abraum insbesondere auch die Instandhaltung der Zuwegungen oder die Nachführung von Versorgungsleitungen sowie die fortlaufende Sicherung gegen unberechtigtes Betreten des Tagebaues.

5.3 Betriebsstelle Gewinnung

5.3.1 Gewinnungstechnik

5.3.1.1 Abbauführung

Die Abbauführung ergibt sich weitestgehend aus der Konfiguration der Lagerstätte sowie dem Standort der Aufbereitungsanlage und gibt die räumliche Abfolge der Gewinnungsarbeiten vor. Die Förderstrecken für das abgegrabene Bodenmaterial zur Aufbereitungsanlage sind zu minimieren. Die Aufbereitungsanlage sollte deswegen möglichst im Massenschwerpunkt der Lagerstätte aufgestellt sein.

Man unterscheidet folgende Arten der Abbauführung^{134, 135}

- sektorenweise Gewinnung,
- sternförmige Gewinnung,
- mehrstreifige Gewinnung,
- kreisförmige Gewinnung.

Sektorenweise Gewinnung

Die Abbauführung in Sektoren (Abb. 5-2) wird bei langen und schmalen Abbaufeldern angewandt.

Der Abbau erfolgt in Teilfeldern, sog. Sektoren. Nach erfolgter Gewinnung des ersten Sektors wird die Übergabestation Wasser- Land, die das Schwimmförderband oder die Spülrohrleitung mit dem Landförderband verbindet, umgesetzt und die Länge des Landförderers an die neue Transportentfernung angepaßt.

Die Kiessande aus dem Pfeiler unter der Aufbereitungsanlage in Abb. 5-2 werden im Zuge des Rückbaues hereingewonnen.

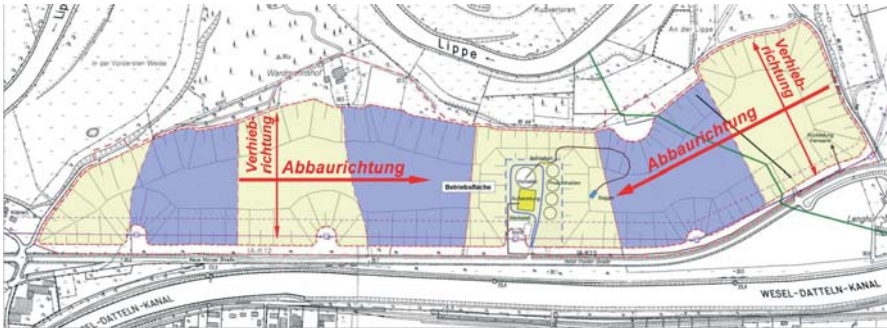


Abb. 5-2 Sektorenweiser Abbau

Sternförmige Gewinnung

Diese Abbauführung (Abb. 5-3) wird bei mehr quadratisch ausgeprägten Lagerstätten angewandt. Der Landförderer befindet sich in der Mitte der Lagerstätte. Die Abgrabung erfolgt bis auf einen verbleibenden Damm, der zum Ende der Gewinnung hereingewonnen wird.

Mehrstreifengewinnung

Diese Abbauführung (Abb. 5-4) wird bei sehr großen Feldern wie z.B. im offshore Bereich gegeben angewandt. Das nächste Teilfeld wird erst verritzt, wenn der Abbau im vorausgegangenen abgeschlossen und das Teilfeld abgeworfen ist.

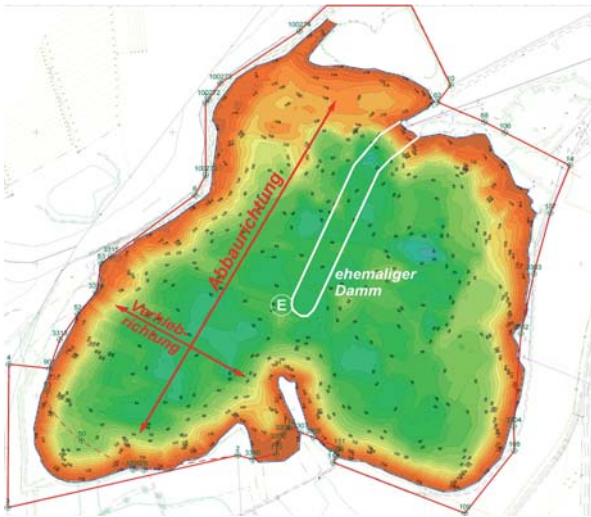


Abb. 5-3 Sternförmiger Abbau (weiß: zum Zeitpunkt der Peilung bereits rückgebauter Damm, E: Einschwimmloch)

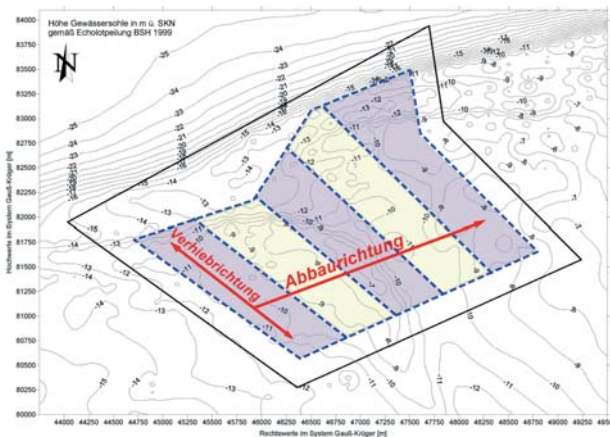


Abb. 5-4 Mehrstreifiger Abbau

Kreisförmige Gewinnung

Die kreisförmige Gewinnung ist eine Sonderform der Gewinnung bei Einsatz eines Laderaumsaugbaggers z.B. innerhalb eines Streifens einer Mehrstreifengewinnung.

Bei Extraktion eines bestimmten Minerals wie Kies oder Schwermineral sollte der Verhieb vom Äußeren her zur Mitte des Streifens erfolgen, um zu vermeiden, dass nicht nutz- bzw. vermarktbare Material, z.B. Sand bei

Kiessandgewinnung mit integrierter Siebklassierung, über haltige Lagerstättenteile verkippt wird (Abb. 5-5).

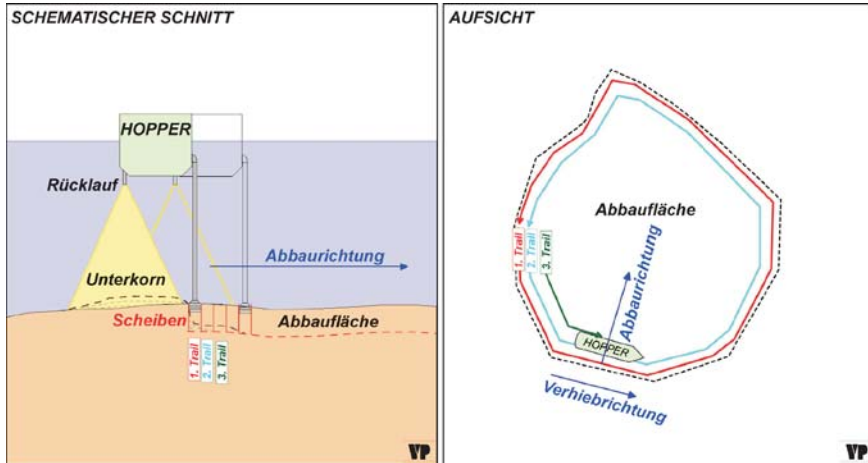


Abb. 5-5 Kreisförmige Gewinnung

5.3.1.2 Verhieb

Die Verhiebrichtung ergibt sich aus der vorherrschenden Bewegungsrichtung des Schwimmbaggers, die Verhiebart aus der vorherrschenden Bewegungsrichtung seines Lösewerkzeuges.

Bezüglich der Verhiebarten unterscheidet man in

- horizontaler Verhieb,
 - grabenförmig (z.B. durch Grundsaugbagger)
 - blockartig (z.B. durch Schneidkopfsaugbagger, Eimerkettenbagger)
 - streifenförmig (z.B. mittels Laderaumsaugbagger)
- vertikaler Verhieb,
 - trichterförmig (z.B. durch Greiferbagger, Tiefsaugbagger)
 - Bruchbau (bei Unterfahrung bindiger Zwischenmittel) sowie
- kombinierter Verhieb
 - bestehend aus einer Kombination von horizontalem und vertikalen Verhieb.

Die Schnitteinteilung einer Nassgewinnung ähnelt derjenigen eines Schaufelradbaggers im Tagebau mit Blockverhieb (Abb. 5-6). Als Block

ist der zu gewinnende Lagerstättenteil anzusehen, in dem sich der Bewegungsablauf des Gewinnungsgerätes und seines Löswerkzeuges nach dem Versetzen bzw. Verholen systematisch wiederholt.

Die Einteilung beim Blockverhieb ist unter bestimmten Bedingungen auf die schwimmenden Bagger übertragbar, wenn sich auch die Schnittsicheln und die Schnittbreite bei den verschiedenen Baggertypen in ihren Abmessungen unterscheiden.

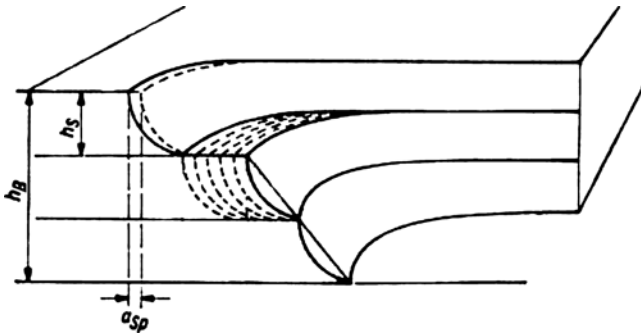


Abb. 5-6 Schnitteinteilung für Schaufelradbagger im Blockverhieb ¹³⁶ (a_{Sp} : Spandicke, h_S : Scheibenhöhe, h_B : Blockhöhe)

Die Höhe einer Abbauscheibe (Abb. 5-6) ist den Lagerstättenbedingungen anzupassen, d.h. wenn erheblich geänderte geotechnische Gegebenheiten angetroffen werden, z.B. bei Baggerung stark verfestigter Böden (Korallenkalk, Ton u.a.m.). Hier sind deutlich kleinere Scheibenhöhen als im zufließenden Sand notwendig.

Die in vorstehendem Blockbild dargestellte, sich zur Seite hin verengende Schnittsichel hat in Abhängigkeit vom Schnittwinkel φ ein mit dessen Cosinus abnehmendes Volumen, was in der Tagebautechnik beim Einsatz von Schaufelradbaggern zu größerer Schwenkgeschwindigkeit führt, um den Förderstrom konstant zu halten. In der Nassbaggerei wie auch in der Nassgewinnung findet diese Problematik nur untergeordnete Beachtung, da sich der Abbau hier nicht streng auf eine Scheibe beschränkt sondern das zumeist rollige Baggergut, insbesondere Sand, vielmehr dem Lösewerkzeug zuläuft und dadurch ein annähernd gleichförmiger Volumenstrom erzielt werden kann.

Neben dem Blockverhieb kommt bei langgestützten Gewinnungsgeräten, insbesondere dem landgestützten Eimerkettenbagger, der Frontverhieb zur Ausführung. Dabei verfährt das Gewinnungsgerät entlang der Abbaufont.

In Verhiebrichtung eines Durchganges können Schwimmbagger den Abbau in unterschiedlicher Weise vornehmen, die nach Verhiebsformen

unterschieden werden. Die Verhiebsformen des horizontalen Verhiebs werden generell in

- mäandrierend, z.B. bei schwimmendem Eimerkettenbagger,
- sichelförmig, z.B. bei Grundsaugbagger und
- linear, z.B. bei Laderaumsaugbagger

unterschieden (Abb. 5-7).

Der mäandrierende Einsatz lässt sich entsprechend der Bewegungsarbeit weiter unterteilen in

- rückwärts schreitender flächiger Verhieb, selten angewandt, z.B. bei Baggerung mittels Stelzenpontonbagger bei unzureichender Wassertiefe, wenn Schuten tiefer eintauchen als Gewinnungsgerät,
- vorwärts schreitender flächiger Verhieb, i.d.R. angewandter Verhieb und
- vorwärts schreitender nicht flächiger Verhieb, sehr selten angewandt. Bei dieser Methode wird das Feld grabenförmig in Schnittbreite des Lösewerkzeuges abgebaut. Dies hat sehr hohe Gewinnungsverluste zur Folge. Bekannt sind 2 Fälle einer Grundsaug- und Eimerkettenbaggerung.

Der Linearverhieb ist der Gewinnung mittels Schleppkopf-Laderaumsaugbaggern zuzuordnen.

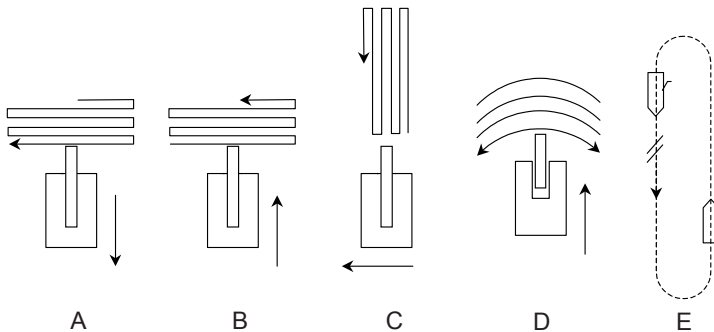


Abb. 5-7 Horizontale Schnittebenen von Gewinnungsgeräten (A-C: Mäanderverhieb D: Sichelverhieb, E: Linearverhieb)

Neben der Lagerstättenausbildung können für die Verhiebsrichtung z.B. auch Wind- und Strömungsrichtung ausschlaggebend sein. Eimerketten- wie Laderaumsaugbagger arbeiten beispielsweise am wirtschaftlichsten entgegen der Strömung bzw. entgegen der vorherrschenden Windrichtung.

5.3.1.3 Böschungsbaggerung

Die Neigung von Böschungen beeinflusst die Menge der gewinnbaren Vorräte erheblich (Abb. 3-74). Die Neigung der Unterwasserböschungen und deren Standsicherheit hängen von den geotechnischen Parametern der Lagerstätte ab, im Wesentlichen vom

- Winkel der inneren Reibung und
- dem Anteil der Fraktion $0/63\mu\text{m}$ ^{84, 137}.

Neben diesen gegebenen Vorbedingungen der Lagerstätte wird die Böschungsneigung aber auch wesentlich beeinflusst durch

- das eingesetzte Lösewerkzeug, das entweder zwangsgeführt oder nicht zwangsgeführt ist, sowie durch
- die Baggerart.

Zwangsgeführte Lösewerkzeuge verlangen eine Festlegung des Schwimmbaggers über Pfähle und 2 Vorschiff-Seitenwinden mit Ankern.

Bei Baggerung in Wassertiefen von mehr als ca. 18 m sind 5-6 Anker, davon 1 Voranker, 2 Vorschiffseitenwinden- und 2 Achterschiffseitenwindenanker sowie 1 Heckanker erforderlich. Die Seile der letztgenannten 3 Anker werden über eine Dreipunktwinde (sog. christmas-tree winch) geführt. Mittels dieser Ankeranordnung kann das Lösewerkzeug annähernd wie bei Pfahlverankerung am Schnitt gehalten werden¹³⁸.

Bei Einsatz nicht zwangsgeführter Lösewerkzeuge können derart ausgestattete Schwimmbagger nur in frei zufließenden Böden Gewinnung ausführen. Profilgerechtes Baggern wie im Böschungsbereich erforderlich ist mit solchen Geräten, wenn überhaupt, nur mit sehr großen Baggertoleranzen und entsprechend höheren Gewinnungsverlusten möglich.

Für Geräte mit nicht zwangsgeführtem Lösewerkzeug sind im Zusammenhang mit einer profilgerechten Böschungsbaggerung, i.d.R. bei der Herstellung der Endböschung, die in Tabelle 5-1 aufgelisteten Hinweise anzumerken.

Für Geräte mit zwangsgeführtem Lösewerkzeug sind dagegen bezüglich der Böschungsbaggerung Hinweise, wie in der Tabelle 5-2 aufgeführt, anzumerken.

Tabelle 5-1 Auswirkung auf Böschungsbaggerung mit nicht zwangsgeführtem Lösewerkzeug

Baggergerät	Böschung
Schrapper, Schleppschaukel	steilere Böschung im Abgrabungsbereich mit entsprechend geringerer Standsicherheit sehr flache Böschung im Förderbereich mit entsprechend hohen Gewinnungsverlusten
Grundsaugbagger	Grabenprofil im Abgrabungsbereich Rippenbildung in Abbaurichtung geplante Böschung i.d.R. nicht baggerbar mit entsprechend höheren Gewinnungsverlusten
Greiferbagger	geplante Böschung i.d.R. nicht baggerbar mit entsprechend höheren Gewinnungsverlusten
Laderaumsaugbagger	sehr flache Böschungen mit Neigungen $H:L < 1:6$

Tabelle 5-2 Auswirkung auf Böschungsbaggerung mit zwangsgeführtem Lösewerkzeug

Baggergerät	Böschung
Schneidkopfsaugbagger	kontrollierte Böschungsbaggerung aufgrund der Verankerung des Baggergerätes in der Gewässersohle bzw. an Land sowie feste Verbindung des Lösewerkzeuges mit dem Bagger, Abbau- und Gewinnungsverluste minimiert
Schneidradsaugbagger	
Eimerkettenbagger, schwimmend	
Eimerkettenbagger, landgestützt	
Stelzenpontonbagger	

Die Böschungsbaggerung kann je nach Art des eingesetzten Schwimmbaggers zu folgenden Ausführungsvarianten führen:

- unkontrollierte Böschungsbaggerung mit sich in natürlicher Neigung einstellender Böschung (Abb. 5-8),
- semi-kontrollierte Böschungsbaggerung im sog. box-cut Verfahren (Abb. 5-9),
- kontrollierte Böschungsbaggerung mittels sog. Böschungsprofilcomputer (Abb. 5-10).

Die unkontrollierte Böschungsbaggerung mit sich in natürlicher Neigung einstellender Böschung ist im Wesentlichen auf Geräte mit nicht zwangsgeführtem Lösewerkzeuge beschränkt. Eine Gewährleistung genehmigungsrechtlich einzuhaltender Vorgaben, z.B. Baggertiefe oder Soll-Böschungsneigung, erfolgt unter Inkaufnahme oftmals erheblicher Gewinnungsverluste.

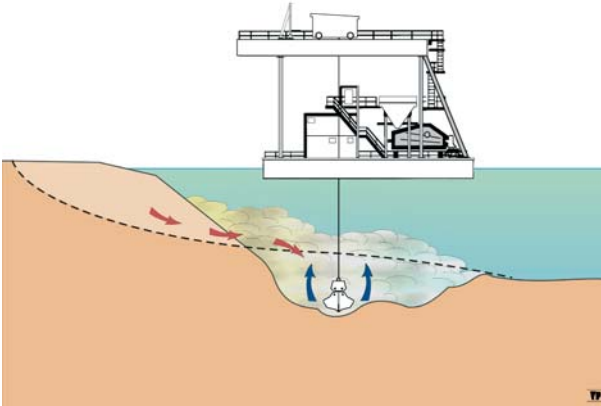


Abb. 5-8 Unkontrollierte Baggerung

Die semi-kontrollierte Böschungsbaggerung (Abb. 5-9) im sog. box-cut Verfahren ist generell auf den Einsatz von Baggern mit zwangsgeführtem Lösewerkzeug beschränkt. Hierbei wird in Scheiben geringer Mächtigkeit von i.d.R. $< 2,5$ m gebaggert. Die zunächst sehr steil stehenden Böschungen gehen infolge Unterschneiden der Soll-Böschungslinie planmäßig zu Bruch. Die Scheiben sind so anzulegen, dass die dabei entstehende Bruch-Böschungslinie der Soll-Böschungslinie entspricht. Mittels dieser Methode können auch in gering tragfähigen Schichten wie beispielsweise Torf oder Gytja Böschungen planmäßig hergestellt werden. Die Scheiben betragen dann allerdings nur sehr viel weniger als 1 m box-cut Höhe.

Die kontrollierte Böschungsbaggerung (Abb. 5-10) mittels sog. Böschungsprofilcomputer ist auf zwangsgeführte Lösewerkzeuge beschränkt. Hierbei werden baggerspezifischen Daten wie Position des Lösewerkzeuges, Vortrieb, Verholkräfte der Seitenwinden, Schwenkgeschwindigkeit, Pumpendaten (Kreiseldrehzahl, saug- und förderseitiger Druckverhältnisse) u.a.m. sowie das vorgegebene Soll-Profil fortlaufend gemessen und in einem Rechner verarbeitet, mit dessen Hilfe die Baggerung überwacht wird. Diese Anwendung erfolgt hauptsächlich im Wasserbau.

Die Verfahren semi-kontrollierter und kontrollierter Böschungsbaggerung werden im Sinne der Standsicherheit der Böschungen unter Berücksichtigung minimierter Gewinnungsverluste auch als schonende Abbauverfahren bezeichnet.

Mit einem den Lagerstättenbedingungen angepassten Abbaukonzept, d.h. Definition von standsicheren Böschungsneigungen, den Scheibenhöhen, der Verhieb- und Abbaurichtung u.a.m., kann in Verbindung mit einer kontinuierlichen GPS-gestützten Abbaukontrolle auch Schwimmbagger mit nicht zwangsgeführten Lösewerkzeugen eingesetzt werden. Die Vor-

bedingung eines sorgfältig definierten Abbaukonzepts gilt insbesondere bei Abbau von Sanden mittels Grundsaugbagger.

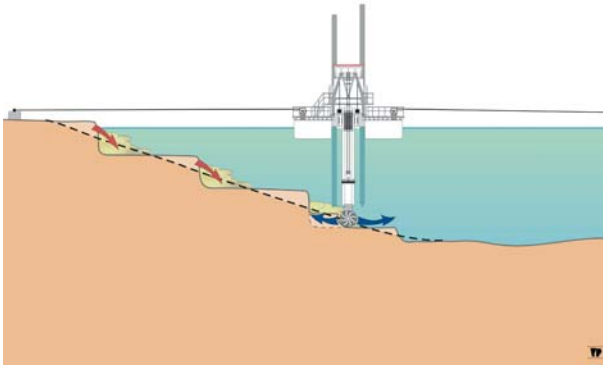


Abb. 5-9 Semi-kontrollierte Baggerung

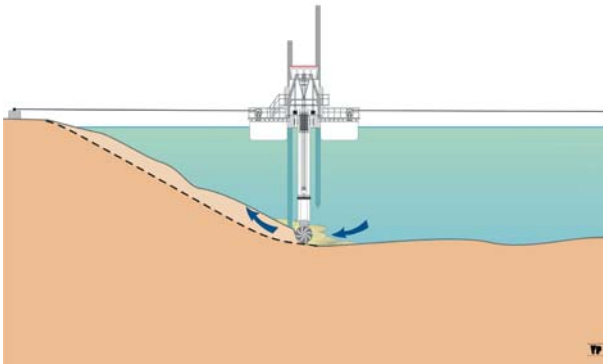


Abb. 5-10 Kontrollierte Böschungsbaggerung

5.3.1.4 Betriebszeit, Drehfaktor

Betriebszeit

Die Betriebszeit eines Abbausystems ist Teil von dessen wirtschaftlicher Lebenszeit. Die Lebenszeit (Abb. 5-10) teilt sich auf in Verfügungszeit und planmäßige Stillstandszeit.

Letztere entsteht z.B. durch gesetzliche Feiertage, ggf. Betriebsurlaub, die jährliche Grund- und Schlussreparatur, marktbedingte Produktionseinschränkungen, oder das Schichtregime.

Im Falle der Lohnbaggererei, d.h. Nassgewinnung durch Dritte, ist neben Stillstandszeiten für Mobilisierung und Umsetzen von Gerät auch dessen genereller Beschäftigungsgrad zu berücksichtigen. Dieser Beschäftigungs-

grad ist geräteabhängig. Die Ansätze der Baugeräteliste (BGL) gehen von einem Beschäftigungsgrad von 50% der Lebenszeit aus.

In Zusammenhang mit dem Schichtregime ist anzumerken, dass die in der Nassbaggerei eingesetzten Geräte 24 Stunden/Tag an 7 Tagen je Woche eingesetzt werden. In der terrestrischen Nassgewinnung dagegen wird oftmals wegen der vergleichsweise geringen Produktion in einschichtigem Betrieb von 50 Wochenstunden gearbeitet oder auch in Kampagnen von nur mehreren Wochen Dauer, in deren Zug die Rohhaldenbestände aufgefüllt werden. Ist dies erfolgt, wird das Gerät demobilisiert.

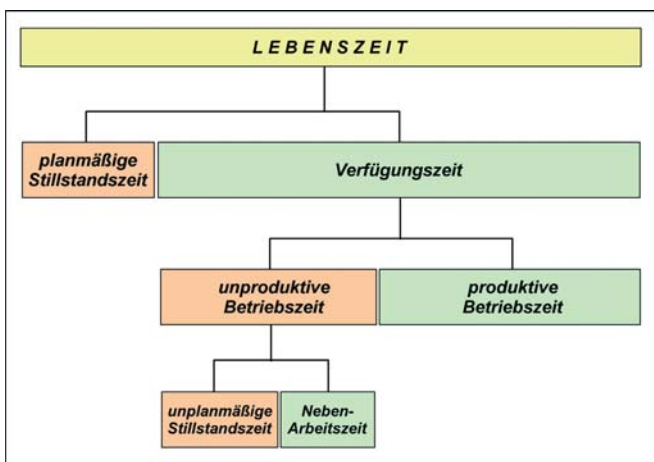


Abb. 5-11 Definition der Betriebszeit

Die Verfügungszeit eines Baggers wird unterschieden in dessen produktive und unproduktive Betriebszeit. Die unproduktive Betriebszeit unterteilt sich in Nebenarbeitszeit, d.h. die Zeit, die planmäßig im Produktionsablauf Stillstände bedingt (z.B. Verholen des Baggers in den neuen Schnitt, Anker verlegen, Betanken, Schichtwechsel, Schmieren u.a.m.) und unplanmäßige Stillstandszeit, die sich im Einzelnen aus folgenden Ausfallzeiten zusammensetzen kann ^{139, 140, 141, 142}.

- Arbeitszeitspezifische Stillstandszeit,
- Stillstandszeit infolge von Schichtzahl je Tag (Schichtwechsel bei Mehrschichtbetrieb)
- Wartungs- und reparaturbedingte Stillstandszeit,
- Stillstandszeit infolge laufender Instandsetzung, Wartung sowie Reparatur der am Abbau beteiligten Geräte.
- Einsatzgebietspezifische Stillstandszeit.

- Exponierte Einsatzgebiete können infolge Regen, Nebel, Eis, Tidehub, Schiffspassagen oder ökologische Einschränkungen (Laichgebiet) über das normale Maß hinaus zusätzliche Stillstandszeit erfordern.
- Löseverfahrenspezifische Stillstandszeit.
- Mechanische Löseverfahren haben auf Grund des höheren Verschleißes am Lösewerkzeug prinzipiell höhere Ausfallzeit als hydraulische Löseverfahren. Es ergeben sich höhere Stillstandszeiten durch Wechseln der Schneidwerkzeuge.

Drehfaktor

Die vorgenannten Stillstandszeiten werden durch den gerätespezifischen Drehfaktor $D_{F, \text{Bagger}}$ ausgedrückt (z.B. in Tabelle 5-10 für den Grundsaugbagger). Dieser ist das Verhältnis von unproduktiver zu produktiver Betriebszeit. Der Drehfaktor ist also umso geringer je höher die unproduktive Zeit ist.

Darüber hinaus kann in besonderen Fällen eine Berücksichtigung weiterer projekt- und/oder gerätespezifischer Stillstandszeiten entstehen, bedingt durch:

- ungeübtes Personal: insbesondere bei technisch komplexen Gewinnungsgeräten (z.B. Schneidradsaugbagger, Schneidkopfsaugbagger) auftretend,
- unterbrochene Verladung: bei Schutenverladung kommt es während der Gewinnung zu Stillstandzeiten aufgrund von Schutenmangel,
- schwieriges Terrain: bei felsigen oder moorigen Abbaugebieten kommt es je nach Art und Größe des Gewinnungsgerätes beim Verholen und Verankern zu Stillstandszeiten,
- besondere klimatische Bedingungen, z.B. in Regionen mit starken Winden, extremen Temperaturen und/oder hohem Wellengang,
- Mächtigkeit des zu baggernden Bodens: einige Gewinnungsgeräte arbeiten auf Grund des zeitaufwendigen Verholens nur bei größeren Mächtigkeiten optimal (z.B. Schwimmgreifer-, Tiefensaugbagger u.a.m.).

Die sich aus solchen unplanmäßigen Stillstandzeiten ergebenden Drehfaktorkorrekturwerte $D_{F, Ki}$ (z.B. Tabelle 5-11 für den Grundsaugbagger) sind nachstehend in den jeweiligen Kapiteln der verschiedenen Nassbaggerarten angegeben.

Die Berechnung des Drehfaktors $D_{F, ges}$ erfolgt dann gemäß.

$$D_{F, ges} = D_{F, \text{Bagger}} \cdot \prod D_{F, Ki} \quad (5-1)$$

mit

$D_{F,Bagger}$ gerätespezifischer Drehfaktor
 $D_{F,Ki}$ gerätespezifische Drehfaktorkorrekturwerte.

5.3.1.5 Gewinnungsverluste

Gewinnungsverluste lassen sich unterteilen in:

- unvermeidbare Gewinnungsverluste und
- vermeidbare Gewinnungsverluste.

Unvermeidbare Gewinnungsverluste ergeben sich durch die Bauart und Führung des Lösewerkzeuges, das Vorschubsystem bzw. die Arbeitsmethode des Schwimmbaggers und gerätebedingte Schnittverluste. Sie gehören zu den Abbauverlusten.

Vermeidbare Gewinnungsverluste infolge mangelhafter Abbauplanung, unsorgfältigem Baggern, Beschränkungen des Gerätes u.a.m., die oftmals erheblich sein können, sollten nicht ohne weiteres hingenommen werden, da sie die Wirtschaftlichkeit des Standortes allein durch die reduzierte Lebensdauer wesentlich beeinflussen. Sie ergeben sich hauptsächlich in Abhängigkeit von dem eingesetzten Gewinnungsgerät (Abb. 5-12).

Die Auswertung umfangreicher Untersuchungen hat die in Abb. 5-12 dargestellten tatsächlich angefallenen Verluste an gewinn- und nutzbaren Vorräten ergeben. Diese schwanken je nach Gewinnungsgerät zwischen 0,5 und 20 t/m² Seefläche, im Mittel ist von 4,4 t/m² Seefläche auszugehen.

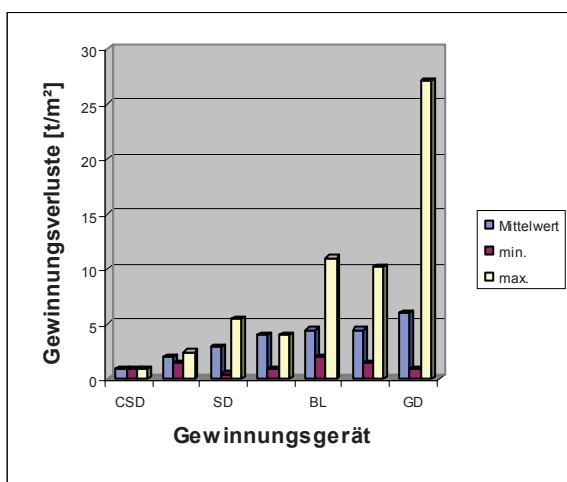


Abb. 5-12 Vermeidbare Gewinnungsverluste ausgewählter Gewinnungsgeräte (CSD: Schneidkopfsaugbagger; SD: Grundsaugbagger; BL: Eimerkettenbagger; GD: Greiferbagger)

Weiter war anhand der Untersuchungen zu erkennen, dass in Lagerstätten mit einer Mächtigkeit von $>25\text{m}$ die Gewinnungsverluste mit zunehmender Teufe signifikant ansteigen. Dies ist im Wesentlichen dadurch begründet, dass der Schwimmbagger, i.d.R. ein Schwimmgreifer, oft sehr lange von einem Standort aus versucht, das Vorkommen in seiner gesamten Mächtigkeit anstatt in Scheiben abzubauen. Dadurch entstehen neben den söhligen Gewinnungsverlusten auch vermehrt Gewinnungsverluste im Böschungsbereich.

Tabelle 5-3 weist auf weitere Faktoren hin, die die Höhe der söhligen Gewinnungsverluste beeinflussen. Abb. 5-13 illustriert die geräteabhängigen Gewinnungsverluste im Bereich der Gewässersohle.

Tabelle 5-3 Einflussfaktoren auf die Höhe der söhligen Gewinnungsverluste

Nr.	Einflussfaktor	
1	Lagerstätten-eigenschaften	- Mächtigkeit - Einschlüsse - Hindernisse - Lagerungsdichte
2	Umweltbedingungen	- Wind - Wasserstand - Strömung

Mit zunehmendem Verhieb zum Liegenden der Lagerstätte oder der Scheibe hin wird die Leistung geringer. Es muss z.B. der sog. Sauberkeitschnitt mit geringerer Mächtigkeit gebaggert werden, um das Ziel maximaler Ausbeute zu erreichen. Diesen finalen Teilschnitt ordnungsgemäß auszuführen steht die von der Aufbereitungsanlage zwecks deren Auslastung geforderte Leistung häufig entgegen. Um keine unmittelbare Abhängigkeit von Gewinnung und Aufbereitung zu haben, sollte eine ausreichend große Vorhalde als Puffer angelegt werden. I.d.R. hat die Vorhalde einen aktiven Vorrat von mehreren Tagesleistungen der Aufbereitungsanlage.

Darüber hinaus steht in den söhligen Teilschnitten vermehrt Material mit geänderten Kornverteilungen an als im gewachsenen Zustand gegeben ist. In der Praxis wird der Bagger dann vorzeitig in den neuen Schnitt verlegt, wodurch vermehrt vermeidbare Gewinnungsverluste anfallen.

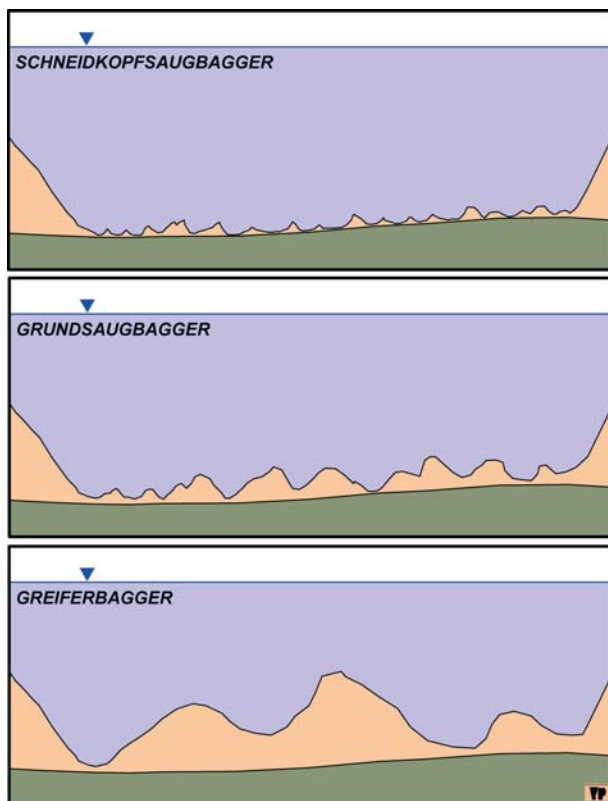


Abb. 5-13 Gewässersohle nach Nassgewinnung mittels verschiedener Gewinnungsgeräte

5.3.1.6 Voraufbereitung

Die Voraufbereitung am Schwimmbagger dient zunächst der Abtrennung von Unrat, größeren Steinen und Blöcken aus dem Baggergut. Bei mechanischen Gewinnungsgeräten erfolgt die Trennung i.d.R. auf einem an Bord des Schwimmbaggers installierten Rost sowie einem nachgeschalteten Schwingsieb, das auch der Entwässerung des Rohmaterials vor Abtransport per Förderband dient. Bei hydraulischer Gewinnung können Unrat und größere Steine durch einen Saugkorb vor dem Saugmund oder durch einen vor der Baggerpumpe in die Saugleitung eingebauten Steinfangkorb, d.h. einen Rost, ausgehalten werden.

Das ausgehaltene Material wird in einer Schute gesammelt, die von Zeit zu Zeit in Ufernähe verklappt wird und kann anschließend je nach Art ggf. in das Rekultivierungskonzept integriert werden.

Die Voraufbereitung kann auch der Vorabtrennung von Feinsanden dienen, die nicht in den eigentlichen Aufbereitungsprozess gelangen sollen.

Überwiegend kommen folgende Verfahren bzw. Geräte zur Voraufbereitung zur Anwendung, die abhängig von der Lagerstättensituation und vom eingesetzten Gewinnungs- oder Fördergerät ausgewählt werden:

Trennen

- **Grobrost**
Der Grobrost wird vor allem mechanischen Gewinnungsgeräten nachgeschaltet, um die folgende Förderung und Aufbereitung mit der unerwünschten Überkornfraktion nicht zu belasten. Dabei wird das Überkorn i.d.R. sofort wieder verkippt oder mittels Backenbrecher vorgebrochen und weitergefördert. Bei der hydraulischen Gewinnung werden zudem oftmals Steinfangkästen in der Saugleitung eingesetzt, um evtl. mitgewonnene Überkornanteile vor der Pumpe abzutrennen.
- **Hydrozyklon**
Der Hydrozyklon wird entweder an Land am Unterlauf von Schöpffrädern oder auf dem Gewinnungsgerät am Unterlauf von Sieben eingesetzt, um Feinsandanteile $d > 63 \mu\text{m}$ zu gewinnen, die sonst ungenutzt in den See zurückgeleitet werden.

Entwässerung

- **Entwässerungssieb**
Das Entwässerungssieb wird nach der mechanischen Gewinnung, manchmal auch erst nach einer Teilstrecke hydraulischer Förderung vor Beschickung eines Förderbandes eingesetzt, um das Material weiter zu entwässern, so dass auch größere Förderbandsteigungen überwunden werden können.
- **Schöpfrad**
Das Schöpfrad wird nahezu allen hydraulischen Förderverfahren nachgeschaltet, um das Material dann mittels mechanischer Verfahren weiterfördern zu können. Ausnahmen bilden Gewinnungsanlagen, die direkt in die Aufbereitung fördern oder in Vorsilos, wo die Entwässerung durch Schwerkraft erfolgt.

Zerkleinerung

- **Backenbrecher**
Der Backenbrecher wird häufig auf mechanischen Gewinnungsgeräten eingesetzt, um einen Teil der Überkornfraktionen $d > 63 \text{ mm}$ für das Förderband transportfähig zu machen.



Abb. 5-14 Schwimmgreiferbagger mit integrierter Voraufbereitungsanlage, bestehend aus festem Rost über Kreisschwingsieb (1: Greifer, 2: Rost, 3: Sieb, 4: Schute)

In Abb. 5-14 ist eine Voraufbereitungsanlage dargestellt. Das Foto zeigt den auf einen festen Rost entleerenden Greifer. Das Überkorn des Rostes (Unrat) wird über eine Rutsche in eine längs am Bagger liegende Schute gefördert. Der Rostdurchgang geht auf ein Schwingsieb (Vorsieb), wo Überkorn > 56mm abgetrennt und ebenfalls mittels Förderband in die Unrat-Schute gefördert wird. Mit dem Siebdurchgang wird die schwimmende Aufbereitungsanlage beschickt.

5.3.1.7 Gewässertrübung

Bei der Rückleitung von Wässern im Zuge von Gewinnung und Aufbereitung anfallende Suspensionen bilden Trübungsfahnen, die u.U. in ökologisch sensiblen Gewässern ohne vorherige Klärung zum Untersagen der Nassgewinnung führen können. Suspensionsfrachten von in Schwebelage befindlichen Bodenteilchen entstehen hauptsächlich beim Lösen des Bodens, bei Gefäßbaggern während des Hebens, bei der Entwässerung vor weiterem Transport, beim Umschlag in Transportgefäße oder im Zuge der Aufbereitung.

Die Klärung von Rückwässern aus der Aufbereitung kann durch speziell angelegte Klärfelder oder auch durch pflanzenbewachsene Verrieselungsflächen erfolgen. Alternativ kann die Klärung von Restmengen an Schadstoffen in Apparaten kostengünstig durch immobilisierte Algen erfolgen¹⁴⁴.

Trübung ist eine Größe, die die Lichtdurchlässigkeit einer Flüssigkeit beschreibt. Sie ist ein Indikator des suspendierten Bodenmaterials. Die Trübung kann nicht direkt mit der Suspensionsfracht korreliert werden, da die optischen Charakteristika in Abhängigkeit von Größe, Form und Brechungsindex der Suspensionsfracht variieren. Die Trübung wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Bodenart und -genese,
- physikalische und chemische Bodenparameter,
- Gasgehalt,
- hydrodynamische Eigenschaften des Gewässers infolge von Wind, Strömung, Wellen und Wassertiefe sowie der
- Wasserqualität.

Die zusätzlich zu der Grundbelastung ($< 100 \text{ mg/l}$) bei Abgrabungen entstehende Suspensionsfracht und damit die Trübung des Gewässers ergibt sich hauptsächlich:

- in der Nähe des Lösewerkzeuges während der Abgrabung und
- beim Vorwärtsverholen des Baggers jeweils am Schnittpunkt (insbesondere bei Saugbaggern, Eimerkettenbaggern, Stelzenpontonbaggern).

Die durch Hilfsgeräte verursachte Suspensionsfracht ist häufig mehr als doppelt so hoch wie bei den eigentlichen Gewinnungsarbeiten während des Schnittes anfallend, u.zw. durch Aufnehmen der Anker, Verlegen des Baggers oder der Rohrleitung.

Beispiele von Suspensionsbildungen unterschiedlicher Baggergeräte sind in Tabelle 5-4 aufgelistet. Bei der Abschätzung der infolge der Abgrabung möglichen Suspensionsfracht ist der anstehende Boden genau zu analysieren.

Tabelle 5-4 Beispiele von Trübung verschiedener Schwimmbaggerungen ¹⁴⁵

	Boden	Bagger	C [mg/l]
Ton	40 Ma.-%	Schwimmgreifer	35
Sand	23 Ma.-%		
Ton	65 Ma.-%	Eimerkettenbagger	15
Sand	16 Ma.-%		
Ton	74 Ma.-%	Laderaumsaugbagger mit AMOB	60-70
Sand	10 Ma.-%		

Nachstehend (Abb. 5-15) ist die Ausdehnung von Trübungswolken infolge Laderaumsaugbaggerung bei Seekiesgewinnung (längs in Fahrtrichtung Laderaumsaugbagger) und Bodenbaggerung von sandigem Schluff (quer zur Fahrtrichtung) dargestellt ¹⁴⁶.

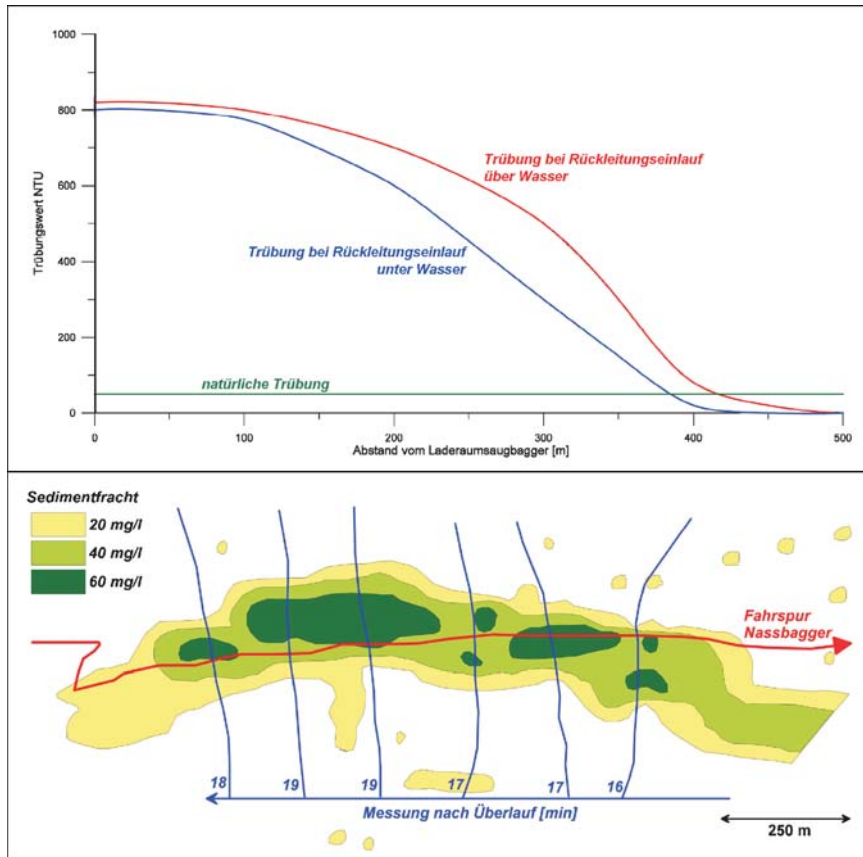


Abb. 5-15 Verteilung der Trübung aus Überlaufverlusten (o.: nach Baggerung von Seekies mittels Laderaumsaugbagger in Fahrtrichtung; u.: bei Baggerung von Schluffen und Tonen quer zur Fahrtrichtung)⁴⁷

Bei Beladen des Laderaumsaugbaggers (Trailing Hopper Suction Dredger, THSD) im Überlaufverfahren, dem sog. overflow dredging, wird Boden des THSD im Überlauf während der weiteren Beladung des THSD zurückgeführt und unterhalb des Schiffsbodens zurückgeleitet.

In Abhängigkeit von dem ursprünglichen Schluffgehalt des anstehenden Bodens fallen im Rückstrom unterschiedliche Korngrößen und Mengen an (Abb. 5-16).

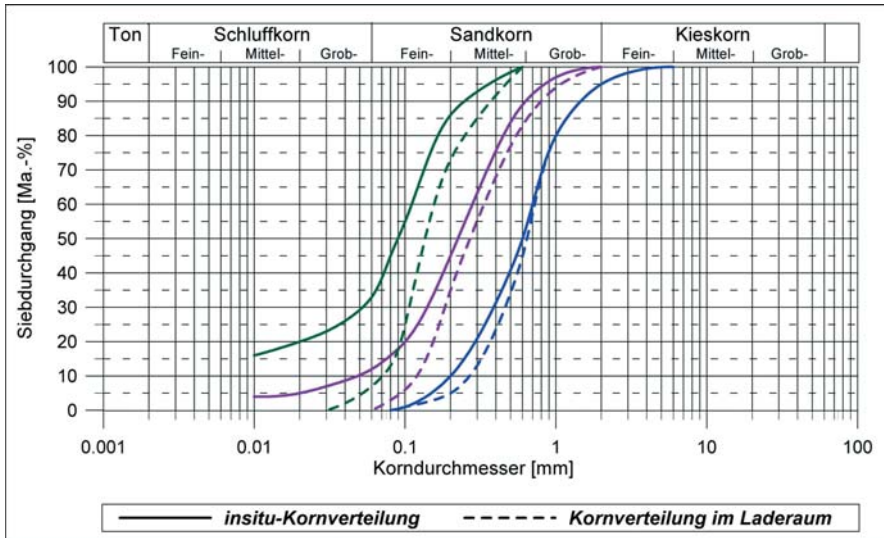


Abb. 5-16 Kornverteilung von Baggergut

Ein anderes Beispiel ist die Baggerung belasteter Böden mittels eines sog. Schneidkopfsaugbaggers mit ökologischem Schneidkopf (Ecological Cutter Suction Dredger, ECSD), dessen Lösewerkzeug so ausgebildet ist, dass eine Schicht bestimmter Mächtigkeit durch Abschälen abgetragen wird oder sich durch eine geringe Trübungsentwicklung auszeichnet (Low Turbidity Dredger, LTD)¹⁴⁷ (Abb. 5-17). Geschlossene Greiferbauarten kommen ebenfalls zum Einsatz.

In sehr sensiblen Baggergebieten, wie z.B. im Umfeld von Riffen, kann der zerstörende Suspensionseintrag durch Betrieb eines Vorhanges aus Geotextilien, einem sog. silt curtain, reduziert werden. Dabei wird das Geotextil schwimmend um den Bagger gelegt. Der Fuß des Vorhanges besteht aus Geotextilschläuchen, die mit Sand gefüllt sind.



Abb. 5-17 Baggerung von auflagerndem Ton und Schluff mittels LTD

Häufiger kommt ein gewebeverstärktes mehrschichtiges Filtergeotextil in Frage, mit dem der Baggerbereich z.B. bei Uferverspülungen abgegrenzt wird.

Bei Schutenbetrieb kann eine Längsseite des Geotextilvorhangs so angelegt werden, dass sie mit Hilfe eines Schleppers bewegt und als “Tor” genutzt werden könnte.

Bei direkter Verspülung kontaminierter Böden beispielsweise in eine Unterwasserdeponie kann diese durch einen Geotextil umschlossen werden.

Die Verwendung von Geotextilien eignet sich am besten bei stillstehendem Wasser mit nur geringen Wasserstandsschwankungen. Sonst kann hoher Druck auf die Geotextilfläche entstehen, zumal wenn sich diese im Zuge der Zeit mit Feinstkorn zugesetzt hat und mehr oder weniger wasserundurchlässig geworden ist. In diesem Falle tritt bei größeren Strömungen, Wasserstandsänderungen oder Wellenbewegungen die Gefahr des Zerreißen ein, mindestens jedoch Lösen des Geotextiles von der Sohle, so dass suspendiertes Material erneut mobilisiert werden kann.

5.3.2 Entwicklung der Nassbagger

Die bergmännische Gewinnung von Feuerstein, Kupfer, Gold und Silber dürfte der Anfang aller bergmännischen Tätigkeit gewesen sein. Gangerze wurden gesucht und zunächst oberflächennah im Tage- wie im Tiefbau abgebaut. Alluviale Ablagerungen in den Flussläufen bergen z.B. Gold-

nuggets. Infolge der Suche nach den schweren Metallen in größerer Tiefe ergab sich die Gewinnung unter Wasser^{148, 149}.

Die Nassgewinnung erfolgte zunächst mittels Waschen erzhaltiger Sande in Fellen oder Tüchern, wie von dem Mönch Theophilus im 11. Jahrhundert für die Gewinnung von Gold am Rhein beschrieben, oder in Pfannen. Später erfolgte die Nassgewinnung mineralhaltiger Seifen mittels Umleiten von Wasserströmen, schließlich mittels Monitor, heutigentags mittels Eimerketten- oder Grundsaugbagger (bucket ladder dredger, BL bzw. plain suction dredger, SD).

Die wasserbauliche Nassbaggerei nutzte zunächst die Strömung für Vertiefungen. Dabei wurde der in den Zufahrtswegen den notwendigen Tiefgang beschränkende abgelagerte Boden, i.d.R. Schlick, mittels eines über den Grund gezogenen Rechens oder mittels einer Baggermühle (niederländisch: bagger molen), dem späteren Eimerkettenbagger, aufgerührt und die dabei entstehende Suspension von der Strömung mitgenommen. Heutzutage wird dieses Verfahren als Agitationsbaggerung bezeichnet.

Bei der Agitationsbaggerung kommen eine Egge, ein Pflug oder ein Wasserinjektionsgerät (water injection dredger, WID) zum Einsatz. Bei letzterem spült eine Baggerkreiselpumpe mit einer Leistung von oftmals mehreren 1.000 m³/h Wasser auf die Gewässersohle und wirbelt so den Boden auf.

Mechanische Verfahren zur Nassgewinnung sind ebenfalls seit mehreren Jahrhunderten bekannt, so z.B. der Schalengreifer für das Lösen und Heben, die Eimerkette zunächst nur für das Heben, später auch für das Lösen ausgelegt, oder der Tieflöffel zum Lösen und Heben des Bodens.

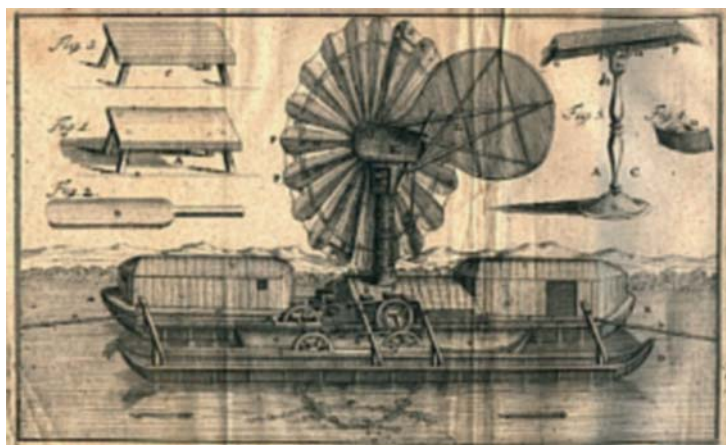


Abb. 5-18 Windgetriebener Eimerkettenbagger, Frankreich 1763

Impulse auf die Entwicklung von Baggerverfahren gingen von Frankreich und Italien aus. Leonardo da Vinci entwickelte einen Schaufelradbagger als Agitationsbagger, der den Boden, im Wesentlichen Schluff, aufwirbelte und an die Strömung abgab. Andere Lösungen waren Schaufelrad- oder Eimerkettenbagger. Der Antrieb erfolgte durch menschliche Muskelkraft, durch Pferde oder mittels Windkraft (Abb. 5-18) ¹⁵⁰.

Ältestes maschinengetriebenes Gewinnungsgerät ist die Baggerei mittels eines Schöpflöffelbaggers, ausgerüstet mit einem an einem Stiel geführten Gefäß (dipper dredger, DD), der nach Erfindung der Dampfmaschine um 1800 in England entwickelt wurde ¹⁵¹. In Deutschland war die Gewinnung mittels dieses bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts angewandten Verfahrens als „Kieskratzen“ bekannt.

Die Geburt der hydraulischen Gewinnung und Förderung kann auf das Jahr 1372 datiert werden, als die Förderung von Flüssigkeiten mittels Rotation in einem Rohr in Frankreich erstmals beschrieben wurde. Ein in Wasser schräg eingetauchtes Rohr wurde schnell gedreht, so dass Wasser zur oberen Austrittsöffnung gefördert wurde. Die Kreispumpe in ihrer heutigen prinzipiellen Konfiguration wurde 1705 von Papin erfunden. 1867 wurde dieses Förderprinzip in Verbindung mit Rohrleitungstransport von Boden-Wasser-Gemischen in größerem Stil zum Bau des Suezkanals genutzt ¹⁵².

Auf diesem Prinzip basierend wurde der Grundsaugbagger entwickelt, später der Schneidkopfsaugbagger (cutter suction dredger, CSD), um auch dichter gelagerte Böden, die dem Saugmund nicht zufließen, lösen, heben und fördern zu können.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der erste Laderaumsaugbagger, die Charleston, in Amerika in der offshore Nassbaggerei eingesetzt. Insbesondere mit der Entwicklung des Hafenbaues im persischen Golf seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts nahm die heutige rasante Entwicklung im Schwimmbaggerbau ihren Lauf:

- Festere Böden mit wesentlich höherer Druckfestigkeit, z.B. dem sog. cap rock am Persischen Golf, waren abzugraben. Hohe Antriebsleistungen am Lösewerkzeug mit deren entsprechender Gestaltung waren die Folge, die wiederum den Einsatz von Großbaggern, sog. heavy duty dredger, notwendig machten, um die Reaktionskräfte der sehr großen Schneidkopfleistungen über die Pfähle in den Boden zurückzuleiten.
- Sehr große Bodenmengen bis zu mehreren Milliarden m³ für große Landgewinnungsvorhaben (insbesondere in Asien) waren zu baggern und aufzuspülen, wozu große Gewinnungsgeräte mit entsprechender Technik zu entwickeln waren.

- Große Förderdistanzen von 150 km bis 200 km und mehr waren zu überwinden, was den Bau großer THSD mit Laderauminhalten von bis zu 35.000 m³ zur Folge hatte. Z.Zt. ist der weltgrößte Laderaumsaugbagger mit 46.000m³ Laderaumvolumen im Bau, dessen Fertigstellung 2008 abgeschlossen sein soll.

Schließlich mussten verschleißfeste Materialien für Lösewerkzeuge und Baggerpumpen entwickelt werden, um die jeweilige Nassabgrabung und die damit ausgeführten Bauprojekte wirtschaftlich zu gestalten.

Die vorstehenden Entwicklungsmerkmale von Schwimmbaggern für die wasserbauliche Nassbaggerei werden deutlich an dem Größenvergleich der installierten Leistungen verschieden großer CSD (Tabelle 5-5).

Tabelle 5-5 Größenentwicklung von CSD seit 1978

Baggername	Baujahr	Werft	gesamt instal- lierte Leistung [kW]	Leistung Cutter [kW]	Bemerkungen
Kiel	1978	O&K	8.500	1.100	1978 größter deutscher CSD
Taurus	1980	IHC	15.618	3.680	
Amazone	1980	IHC	20.000	3.000	
Leonardo da Vinci	1985	IHC	20.257	4.400	1985 weltgrößter CSD
J.F.J. de Nul	2004	IHC	27.150	6.000	2004 weltgrößter CSD
D'Artagnan	2005	IHC	28.200	6.000	2005 weltgrößter CSD

Stellvertretend für die verschiedenen Gerätetypen sei die Entwicklung am Beispiel der Laderaumsaugbagger dargestellt: Zur Jahrtausendwende waren schätzungsweise 350 bis 400 größere seegehende Laderaumsaugbagger verfügbar. In den letzten Jahren hat sich die Kapazität an Schiffen mit größerem Laderauminhalt von mehr als 9.000 m³ erheblich vergrößert.

Insgesamt werden im Bereich der wasserbaulichen Nassbaggerei weltweit mehr als rd. 2.500 Schwimmbagger verschiedenster Typen (ohne Kleinstgeräte) betrieben. Die Zahl der in der Lockergesteinsgewinnung eingesetzten Geräte ist um ein Vielfaches höher. Allein in Deutschland ist von einem Bestand von ca. 1.500 Geräten auszugehen.

Der Anteil von speziellen THSD für die Gewinnung von Kiessand oder Seifen ist kleiner 10 %. Sie gehören im Wesentlichen der Klasse A der

Tabelle 5-6 an. Einige wenige haben einen Laderauminhalt von $>4.000 \text{ m}^3$. THSD für die Kiessandgewinnung sind i.d.R. für ein Laderaum-Schüttgewicht von 2 t/m^3 , die in der Nassbaggerei eingesetzten THSD für ein Schüttgewicht von $< 1,45 \text{ t/m}^3$, ausgelegt.

Tabelle 5-6 Weltflotte der Laderaumsaugbagger im Jahr 2001 ¹⁵³

Klasse	Laderaum-inhalt (m^3)	Kategorie THSD	hauptsächlicher Einsatz	Weltweite Anzahl
A	750 - 4.000	Klein	Unterhaltungs-Baggerung	120
B	4.000 - 9.000	Mittel	genereller Einsatz	58
C	9.000 - 17.000	Groß	genereller Einsatz	11
D	17.000 - 35.000	Sehr groß	Landgewinnung	11

Derzeit ist die Zahl unterschiedlicher Typen von Nassgewinnungsgeräten sehr groß. Durch Verwendung eines schwimmenden Unterbaues (Ponton) können hauptsächlich bei Einsätzen im terrestrischen Bereich zudem eine Vielzahl von Landgeräten auch zur Nassgewinnung herangezogen werden.

Während die Entwicklung der wasserbaulichen Nassbagger in den letzten 30 Jahren durch neue Techniken, z.B. Lösen von härterer Böden oder Antransport von Sand zur Landgewinnungsfläche aus teilweise sehr großen Entfernungen und Tiefen, geprägt ist, ist die jüngere Entwicklung der bergbaulichen Nassbagger ¹⁵⁴ insbesondere ausgerichtet auf:

- Gewinnung aus Teufen von 100 m und mehr,
- Tiefseegewinnung aus Teufen von 2.000 m,
- Gewinnung im quasi mannlosen Betrieb sowie
- Entwicklung verschleißfester Komponenten.

Eine besondere Art der bergbaulichen Nassgewinnung ist der hydraulische Abbau von Seifen mittels Monitoren. Das Lösen des Bodens erfolgt durch Hydromonitore (Abb. 5-19), das Sortieren durch Schwerkraft über Gerinne. Anderenorts wird die Gewinnung mittels Monitor der Trockengewinnung zugeordnet, im englischen Sprachraum jedoch gehört dieses Verfahren zur Gruppe des mechanical mining, genauer zur Untergruppe wet mining, d.h. der hier diskutierten Nassgewinnung.



Abb. 5-19 Gewinnung mittels Monitor ⁸⁸

Nach sorgfältiger Analyse des Umfeldes der Abgrabung, der Bodenverhältnisse, der Abbauplanung, der zu überwindenden Transportentfernungen sowie der Ablagerungsbedingungen wie Verklappen vor Elevierbagger, aufspülen in Spülfeld oder Vorhalde oder direktes Einspülen in die Aufbereitungsanlage muss das Gewinnungsgerät samt seiner Ausrüstung ausgewählt und ausgelegt werden. Zu berücksichtigen ist hierbei das gesamte Abbausystem, d.h. der Naßbagger einschließlich ggf. Voraufbereitungsanlage und Entwässerungsanlage sowie die Transporteinrichtung wie Rohrleitung ggf. mit zwischengeschalteten Druckerhöhungsstationen, Bändern, Schuten bzw. Laderaumsaugbaggern. Ferner sind die Hilfseinrichtungen für den Betrieb des Abbausystems, wie z.B. Energieversorgung, Versorgungsboot, Versetzboot oder Ersatzteillager und Werkstatt zu planen ¹⁵⁵.

Die verschiedenen Schwimmbaggertypen können nach Welte ¹⁵⁶ eingeteilt werden nach:

Art der Bodenbewegung beim Baggern bzw. Entladen

- kontinuierlich
 - in Fahrt,
 - stationär.

- intermittierend
 - in Fahrt,
 - stationär.

Art der Bodenlockerung bzw. Bodenaufnahme

- hydraulisch,
- mechanisch.

Art der Bodenabgabe bzw. Bodenförderung

- hydraulisch,
- mechanisch.

Die die Gerätegröße bestimmenden, charakteristischen Kenngrößen sind:

- der Gefäßinhalt des Lösewerkzeugs bei mechanischen Gewinnungsgeräten, wie:
 - beim Eimerkettenbagger der Eimerinhalt. Dieser beträgt zwischen 50 l und 1.500 l,
 - beim Stelzenpontonbagger der Löffelinhalt. Dieser beträgt zwischen 1 m³ und 30 m³,
 - beim Schwimmgreiferbagger der Greiferinhalt. Dieser beträgt zwischen 1 m³ und 50 m³,
- der Druckrohrdurchmesser bei hydraulisch fördernden Gewinnungsgeräten, der zwischen 200 mm und 1.200 mm beträgt sowie
- der Laderauminhalt bei Laderaumsaugbaggern, der zwischen ca. 300 m³ und 50.000 m³ beträgt.

Tabelle 5-7 Datenkennblatt eines Grundsaugbaggers

Typ Schwimmbagger	Grundsaugbagger (SD)			
	Einheit	Nassbaggerei		Nassgewinnung
Name		Seeland		Bagger III
Hersteller		O&K Lübeck		Döpke
Bauweise		Monoponton		zerlegbar
Fortbewegung		Geschleppt		geschleppt
Länge	m	88,0/50,0		12,0
Breite	m	12,5		3
Seitenhöhe	m	3,75		1,5
Tiefgang	m	2		0,8
Max. Baggertiefe	m	40		21
Inst. Primärleistung	kW	3200		230
Saugrohrbauart		Gelenk-Rohr		starr
Schutenbeladung		Ja		Nein
Schuteneleviereinrichtung		Ja		Nein
Baggerpumpen	Anzahl	2		1
		UW- Bagger- pumpe	Inboard pumpe	Inboard pumpe
Antriebsleistung	kW	600	1470	230
Drehzahl	min ⁻¹	220	300	1.800
Förderstrom	m ³ /h	5030	5030	800
Förderhöhe	Bar	3,2	6	< 4
Saugrohr Ø	m	0,7	0,7	0,3
Druckrohr Ø	m	0,7	0,65	0,25
Winden zur Positionierung	Anzahl	6		3
Seilgeschwindigkeit	m/min	< 15		./.
Unterkünfte	Anzahl	16		./.
Klasse		Ja		./.

5.3.3 Lösen von Boden

Wesentliche Vorgänge bei Einsatz des Gewinnungsgerätes sind neben der Positionierung

- das Lösen,
- das Heben und
- das Fördern

des Baggergutes.

Für den Fall der Baggerung von sehr dicht gelagerten Lockergesteinen wie Nagelfluhschichten, präkonsolidierte Mergel, in Mergel eingebetteten Konglomeraten, festen Tonschichten oder Tonsteinen u.a.m. ist oftmals eine Vorzerkleinerung oder Auflockerungssprengung dieser Schichten erforderlich.

Vorzerkleinerung findet mittels Meißelgeräten statt, die in Reihe an der Längsseite eines Pontons aufgestellt sind. Damit kann auf einer Länge von ca. 50 m vorzerkleinert werden, bevor sich eine neue Sektion nach Verholen des Pontons anschließt. Die Sektionen werden in einem vor Aufnahme der Arbeiten festgelegten Raster ausgeführt. Das Raster ergibt sich aus der gewünschten Stückigkeit des aufzulockernden Bodens.

Sollte die Meißelzerkleinerung nicht ausreichen, können Auflagesprengungen ausgeführt werden. Der Sprengstoff wird in einem den Baustellengegebenheiten entsprechenden Raster mit Taucherhilfe auf der Schicht fixiert und dann elektrisch gezündet.

Schließlich bleibt die Ausführung von Bohrlochsprengungen nach Unterwasserbohrungen, wenn die aufzulockernde Schicht größere Mächtigkeit hat ¹⁵⁷.

Entscheidend für die nachfolgende Baggerung ist die Stückigkeit des aufgelockerten Materials, die bei hydraulischer Förderung in Zusammenhang mit der Pumpengröße und dem Rohrdurchmesser zu sehen ist. Im Falle mechanischer Gewinnungsgeräte ist die Größe des Grabgefäßes für die Stückigkeit bestimmend.

Die Verfahren zum Lösen des Materials aus der Ortsbrust lassen sich wie folgt unterscheiden (Abb. 5-20):

- mechanisches Löseverfahren,
- hydromechanisches Löseverfahren,
- hydraulisches Löseverfahren,
- hydropneumatisches Löseverfahren,
- pneumatisches Löseverfahren.

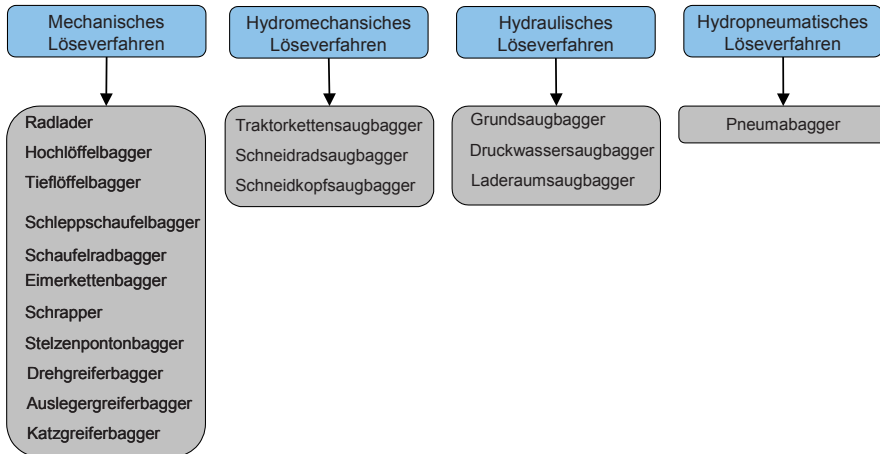


Abb. 5-20 Löseverfahren und typische Gewinnungsgeräte

Die für das Lösen im Lockergestein erforderlichen Elemente werden nachfolgend beschrieben. Die am häufigsten beim Nassabbau genutzten Lösewerkzeuge sind:

- Mechanische Lösewerkzeuge (Eimer, Greifer, Tieflöffel, Schrappergefäß),
- Hydraulische Lösewerkzeuge (Baggerpumpe, Jet- und Hochdruckwasserstrahl),
- Hydromechanische Lösewerkzeuge (Schneidkopf und Schneidrad in Verbindung mit Baggerpumpe).

Mechanisches Lösen

Mechanisches Lösen erfolgt bei Einsatz von Gefäßbaggern, d.h. dem Stelzenponton-, schwimmenden Eimerketten- oder Greiferbagger sowie dem Schrapper. Die Hauptmaschine des Baggers bzw. des Gewinnungsgerätes stellt die benötigten Kräfte sowohl für das Lösen des Bodens, das Befüllen des Grabgefäßes als auch das Heben des Baggergutes an die Wasseroberfläche zur Verfügung.

Hydromechanisches Lösen

Beim Schneidkopf- und Schneidradsaugbagger wird das Lösewerkzeug, der Schneidkopf oder das Schneidrad, separat angetrieben. Dem Lösewerkzeug fallen das Lösen des Bodens und der kurze Transport des Baggergutes zum Saugrohrmund zu, von wo aus der weitere Transport durch die Baggerpumpe erfolgt.

Hydraulisches Lösen

Das hydraulische Lösen erfolgt durch die Einwirkung der Saugkraft der Baggerpumpe sowie ggf. zusätzlichem Eintrag von Druckwasser in den abzugrabenden Boden. Der notwendige Unterdruck für das Heben des gelösten Materials sowie dessen weitere Förderung muss von der Baggerpumpe wie im Grundsaugbetrieb erzeugt werden. Die Baggerpumpe wird durch einen vom Lösewerkzeugsantrieb unabhängigen Motor angetrieben.

5.3.3.1 Lösewerkzeuge der Nassbagger

Als Lösewerkzeuge sind anzuführen:

- nicht zwangsgeführte Lösewerkzeuge
 - Schleppschaufel,
 - Greifer,
 - Schrappergefäß,
 - Grundsaugrohr mit Baggerpumpe,
 - Monitor,
 - Druckwasseraktivierter Saugrohrkopf,
 - mit Niederdruck,
 - mit Hochdruck,
- zwangsgeführte Lösewerkzeuge
 - Schneidkopf,
 - Schneidrad,
 - Eimer,
 - Tieflöffel,
 - Schöpflöffel.

Als wichtige Kenngröße der Effizienz eines Lösewerkzeuges wird dessen Gütegrad der Bodenaufnahme bzw. dessen Schüttgutverlust definiert. Unter Schüttgutverlust wird die gelöste jedoch nicht geförderte Menge Boden verstanden. Der Gütegrad der Bodenaufnahme η_g entspricht dem Verhältnis des durch das Lösewerkzeug gelösten zum geförderten Boden.

$$\eta_g = \frac{Q_{\text{gelöst}}}{Q_{\text{gefördert}}} \quad (5-2)$$

mit

$Q_{\text{gelöst}}$ Menge gelöster Boden

$Q_{\text{gefördert}}$ Menge geförderter Boden.

Der Gütegrad der Bodenaufnahme hängt von folgenden Größen ab:

- Scheibenhöhe,
- Schnittvorschub,
- Rotationsgeschwindigkeit des Lösewerkzeugs,
- ggf. Anstellwinkel der Schneidkopfblätter bzw. Schneidradbügel,
- Schwenkgeschwindigkeit des Schwimmbaggers,
- Bodenart,
- Geschwindigkeit des Feststoff – Wasser – Gemisches.

Folgende in Tabelle 5-8 aufgeführten Gütegrade lassen sich erfahrungsgemäß erreichen:

Tabelle 5-8 Gütegrade der Bodenaufnahme verschiedener Lösewerkzeuge

Schwimmbaggerart	Gütegrad η_g [%]
Schneidkopfsaugbagger	> 60
Schneidradsaugbagger	> 70
Grundsaugbagger	< 50
Eimerkettenbagger	> 50
Greiferbagger	< 50

Nachstehend soll auf einige ausgewählte Lösewerkzeuge näher eingegangen werden.

Baggerpumpe

Saugbagger nutzen zum Lösen und Heben des Baggergutes den saugseitig mittels Kreiselpumpe erzeugten Unterdruck^{158, 159}. Der auf dem Wasser lastende Luftdruck bewirkt eine Strömung vom Saugkopf durch die Saugleitung zum Saugmund der Kreiselpumpe. Bodenmaterial wird mitgeführt, wenn die Differenz zwischen Über- und Unterdruck groß genug ist und eine Strömungsgeschwindigkeit erreicht wird, die in der Lage ist, loses oder frei zu fließendes Material aufzunehmen.

Die Kreisel von Baggerpumpen haben rotierende Flügel, die einen gerichteten Wirbel erzeugen, durch den eine Flüssigkeit bzw. ein Boden-Wasser-Gemisch mit geringem Druck von der Saugseite durch Zentrifugalkräfte zur Druckseite gefördert wird. Die von der Antriebsseite her zugeführte Energie wird teilweise in Druckhöhe und kinetische Energie umgesetzt sowie in geringem Umfange in Wärme. Die kinetische Energie wird allmählich in Druckhöhe umgesetzt. Dabei nimmt die Geschwindigkeit von ca. > 9 m/s auf 1 bis 6 m/s ab.

Um den Verschleiß einzugrenzen, sollte die in der Baggerpumpe aufgebaute Druckdifferenz nicht mehr als ca. 6 bar betragen. Erforderliche

Mehrleistungen werden durch zusätzlich in der Förderleitung installierte Kreiselpumpen (sog. Druckerhöhungsstationen, booster) realisiert. In der Kiessandgewinnung beträgt die mittlere Standzeit bzw. die entsprechende Fördermenge von Baggerpumpen erfahrungsgemäß

- ca. 600.000 t für das Pumpengehäuse und
- ca. 300.000 t für den Kiesel.

Im einkörnigen Feinsand mit einem mittleren Korndurchmesser $<150\text{ }\mu\text{m}$ kann die Standzeit einer Baggerpumpe oftmals mehrere Millionen m^3 betragen. Entscheidenden Einfluss auf den Verschleiß nehmen die mineralogische Zusammensetzung sowie die Kornform des Bodenmaterials.

Der Kiesel kann in offener oder geschlossener Bauweise gebaut sein. In der Kiesgewinnung werden bei Vorkommen von Steinen auch offene Kreisel eingesetzt. Der Wirkungsgrad der Baggerpumpe mit offenem Kiesel ist geringer als der mit geschlossenem.

Eine relevante Kenngröße von Kreiseln ist der sog. Kugeldurchgang durch den Kiesel, d.h. die maximale Kugel, die den Kiesel passieren kann. Kreiselpumpen in der Sandgewinnung haben Kugeldurchmesser von ca. 120-150 mm, womit sich vergleichsweise höhere Förderhöhen als bei Kiesgewinnung von bis zu 70 mWS erzeugen lassen. Die Förderhöhe entspricht der Summe der überwindbaren Saug- und Druckverluste. Kreiselpumpen in der Kiesgewinnung werden dagegen mit einem Kugeldurchgang von bis zu 250 mm gebaut und erreichen Förderhöhen von bis zu ca. 40 mWS.

Der Kugeldurchgang nimmt auch Einfluss auf den erforderlichen Druckrohrdurchmesser. Bei Förderung sehr inhomogenen Materials, z.B. mit Steinen, werden dreiflügelige Kreisel benutzt, bei homogenerem Material 4 oder 5 flügelige Kreisel. In Abhängigkeit von der Flügelzahl lassen sich die Drücke ändern. Mit einer höheren Anzahl von Flügeln ergeben sich höhere Drücke und es können damit größere Spülentfernungen erreicht werden.

Die Flüssigkeitgeschwindigkeit beträgt ca. 50 % der Kieselumfangsgeschwindigkeit. Der Wirkungsgrad der Baggerpumpe kann bis zu ca. 90 % betragen, ist aber infolge Verschleißes i.d.R. erheblich niedriger und beträgt ca. 60%.

Weiter muss Kavitation in der Pumpe vermieden werden, da dadurch erheblicher Schaden entstehen kann. Kavitation, wie die von Schiffspropellern, entsteht nur in Flüssigkeiten. Sie ist mechanisch verursacht, weniger durch elektrochemische Einwirkung oder Korrosion.

Kavitation entsteht bei Absenkung des Druckes einer Flüssigkeit bei konstanter Temperatur, oder umgekehrt bei Erhöhung der Temperatur bei konstantem Druck, wobei sich Aushöhlungen bilden, die mit Dampf gefüllt sind. Die Aushöhlungen bilden sich durch in der Flüssigkeit entstehende Dampfblasen, wenn der absolute Druck unter den Dampfdruck der Flüssigkeit fällt. Im Seewasser kann die Kavitation bereits oberhalb des Dampfdruckes entstehen.

Die maximale Saughöhe wird durch den sog. NPSH-Wert (Net Pressure Suction Height) bestimmt. Der NPSH-Wert wird unter Berücksichtigung der barometrischen Höhe sowie dem Dampfdruck reinen Wassers bestimmt.

$$\text{NPSH} = \frac{p_a}{\rho} + \frac{p_s}{\rho} + \frac{v_s^2}{2} - \frac{p_v}{\rho} \quad (5-3)$$

mit

p_a	lokaler barometrischer Druck
p_s	Saugdruck
p_v	Dampfdruck Gemisch
v_s	Geschwindigkeit saugseitig
ρ	Gemischdichte.

Schneidkopf

Für den Abtrag von lockerem Fels (Weichgestein) geeignete CSD haben am elektrisch angetriebenen Schneidkopf heutigentags installierte Leistungen von bis zu 6.000 kW und können Sedimentgesteine bis zu einer Druckfestigkeit von ca. 100 MPa ohne Auflockerung oder Vorzerkleinerung lösen.

Die i.d.R. in der mineralischen Rohstoffgewinnung hydraulisch angetriebenen Schneidköpfe von Schwimmbaggern haben deutlich geringere installierte Schneidkopfleistungen bis zu 150 kW. In Abb. 5-21 ist ein hydraulischer Schneidkopfantrieb mit Unterwasserpumpe abgebildet.

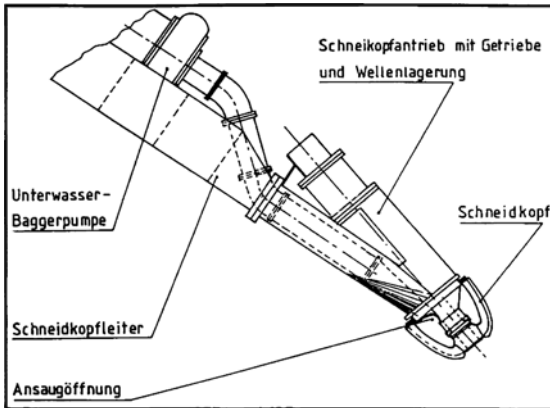


Abb. 5-21 Hydraulischer Schneidkopfantrieb mit Unterwasserpumpe¹⁶⁰

Die Schnittgeometrie eines Schneidkopfes ist in Abb. 5-22 dargestellt. Von Bedeutung für den Baggerprozess ist dabei, dass je nach Schwenkrichtung der Boden entweder im Unter- oder Oberschnitt gelöst wird. Bei zu geringem Gewicht der Schneidkopfleiter fängt diese beim Baggern von festeren, dichter gelagerten Böden an zu springen, insbesondere wenn im Oberschnitt arbeitend, was Leistungsminderung und höhere Schüttgutverluste zur Folge hat.

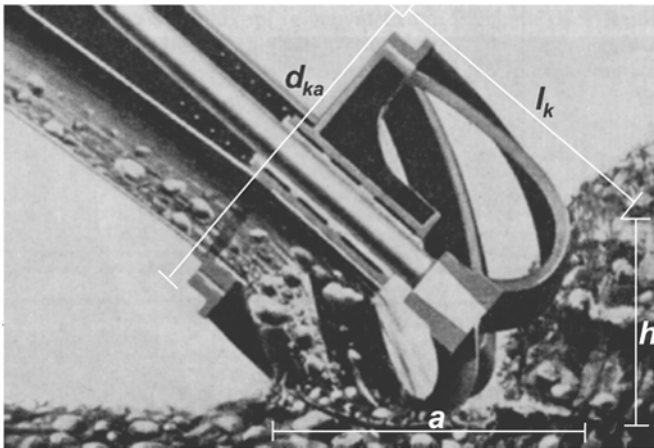


Abb. 5-22 Querschnitt eines Modellschneidkopfes beim Löseprozess nach¹⁶¹ (d_{ka} Schneidkopfaußendurchmesser, l_k Schneidkopflänge, h Bankhöhe (Scheibenhöhe), a Schnitttiefe (Spandicke))

Unter Oberschnitt wird verstanden, dass der Schneidkopf von oben in den Boden schneidet. Im Unterschnitt erfolgt der Eingriff im umgekehrten Sinne.

Abb. 5-23 zeigt Schneidköpfe für den Einsatz in verschiedenen Bodenarten (entweder 5 Schneidarme für Sand oder 6 Schneidarme für Fels), die je nach Bodenart mit verschiedenen Meißeln bestückt sind (z.B. enggesetzte chisel für Mergel oder pick points für Fels).

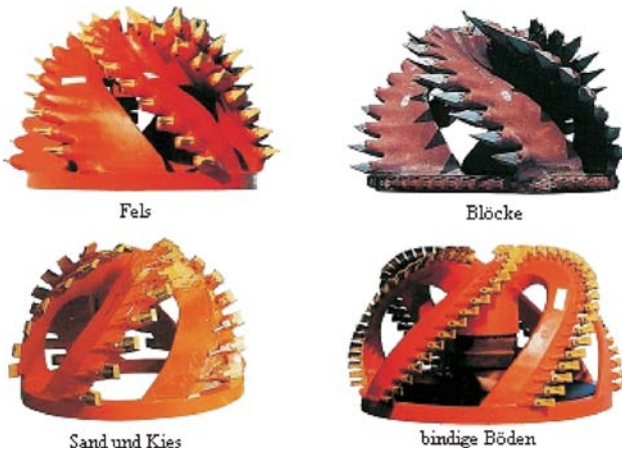


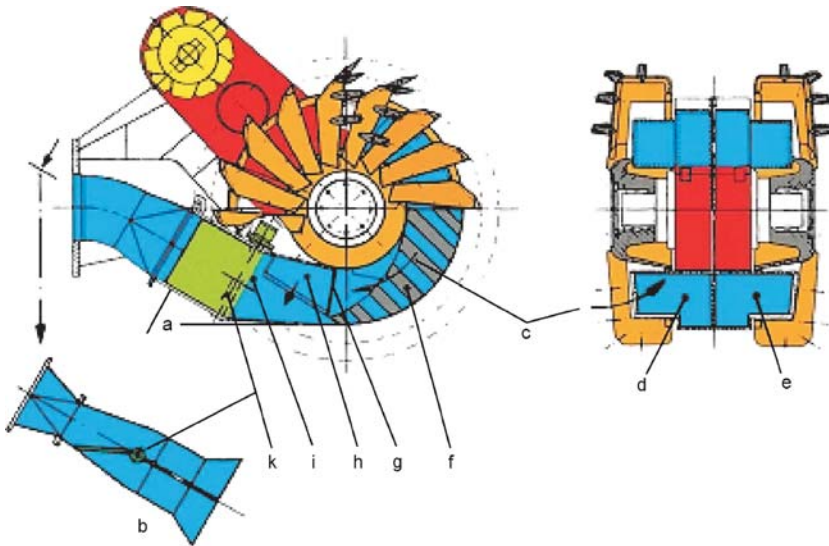
Abb. 5-23 Schneidkopfbauarten für verschiedene Bodenarten ¹⁶²

Schneidrad

Die heutige Form des Schneidrades hat sich aus der Anwendung des Schaufelrades im Tagebau für Braunkohle ergeben. Nachteil des Schaufelrades, wie in der Trockengewinnung häufig eingesetzt, ist das Zusetzen der Schaufeln insbesondere bei Baggerung von bindigen Böden wie Mergel, Moränelehm, Lauenburger Ton oder tonig schluffigem Material, sog. slime, wie er beispielsweise in der Nassgewinnung von Cassiterit infolge der Aufbereitung des Baggergutes durch Rückleitung von Feinstteilen im Baggerseebereich anfällt.

Der nächste Schritt der Entwicklung war der Ersatz der Schaufel durch eine Schneidkante entsprechend einer Schaufel ohne Boden. Ein weiterer Schritt in der Entwicklung war die Auflösung des „Schneidkantenrades“, des sog. cutting wheel, in 2 seitlich angeordnete Schneidräder mit dazwischen geschalteter Wechselklappe (Abb. 5-24). Jedoch sind auch heute noch in der reinen Sandgewinnung Unterwasser-Schaufelräder (z.B. Typ IHC) im Einsatz.

Der Schneidradsaugbagger löst den Boden in horizontalem Verhieb, Dabei kann je nach Ansatz des Schneidrades entweder ein liegender oder ein stehender Span abgegraben werden (Abb. 5-25).



- | | |
|------------------|------------------|
| a) Kammerboden | f) Spanfläche |
| b) Saugkammer | g) Räumplatte |
| c) Saugstrom | h) Saugmund |
| d) Saugkammer I | i) Saugrohr |
| e) Saugkammer II | k) Wechselklappe |

Abb. 5-24 Doppelschneidrad, Drehrichtung im Uhrzeigersinn ¹⁶²

Bei Abtrag mittels vertikalem Span sind die Druckverluste im Ansaugbereich durch im Vergleich zum horizontalen Span ungünstigere Strömungsvorgänge geringer. Bei festen Böden wirken sich auch die Reaktionskräfte auf den Löseprozess negativ aus, insbesondere, wenn die Seitenzugkraft der Verholwinden zu gering ist, um das Schneidrad am Schnitt zu halten. Darüber hinaus ist der Schüttgutverlust vergleichsweise höher.

Ein Nachteil bei horizontalem Span entsteht, wenn das Leitergewicht einschließlich Schneidrad bei Baggerung von dichter gelagerten Böden zu gering ist.

Baggern mit horizontaler Schnittsichel ist dann vorteilhaft, wenn der zu baggernde Boden an der Ortsbrust keine Neigung zum Abbruch bzw. Einsturz zeigt, z.B. beim Baggern von Ton. Der Vorteil der günstigen Strömungsvorgänge dieser Drehrichtung des Schneidrades überwiegt den Nachteil der kleineren Auflagekraft des Schneidrades.

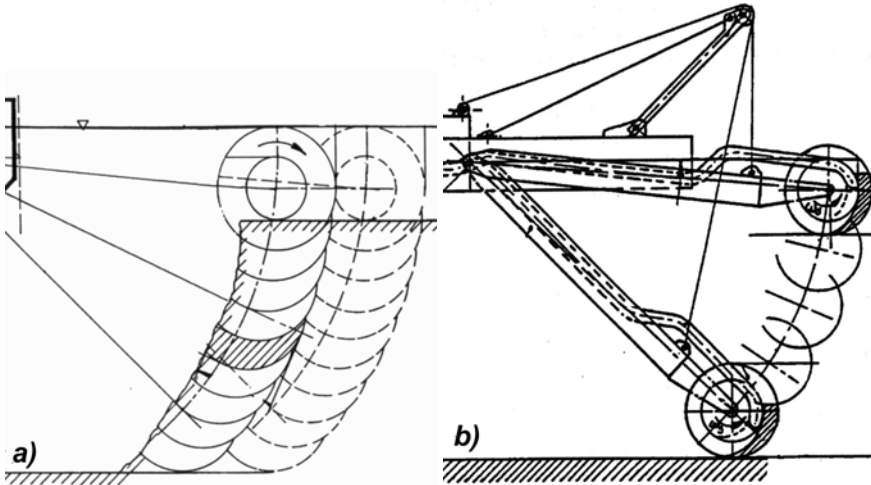


Abb. 5-25 Schnittsichel bei Schneidradbaggerung nach Welte, (a) horizontaler, b) vertikaler Span)¹⁵⁶

Die Fördermenge eines Schneidradbaggers wird von folgenden Einflussgrößen bestimmt:

- Art und Zusammensetzung des Bodens,
- Baggertiefe,
- Raddurchmesser, Schaufelinhalt, Schneidkantenlänge,
- Drehzahl und Antriebsleistung des Rades,
- Schwenkgeschwindigkeit und Antriebsleistung der Seitenverholwinden,
- Saugfähigkeit, Förderleistung und Anordnung der Baggerpumpe (evtl. Unterwasserbaggerpumpe),
- Anordnung des Saugmundes und der Saugleitung.

Für Tonbaggerung ist ein Doppelschneidrad (Abb. 5-26) erfahrungsgemäß am besten geeignet. Gefahr des Zusetzens wie beim Schneidkopf ist durch die besondere Bauart des Schneidrades mit einem Abstreifer (Abb. 5-24, g) nicht gegeben. Als besonderer Vorteil im Vergleich zum Schneidkopf ist der ca. 10 % höhere Gütegrad der Bodenaufnahme. Während dieser beim Schneidkopf erfahrungsgemäß ca. 60 % beträgt, lassen sich mit dem Schneidrad Gütegrade von > 70 % erzielen.



Abb. 5-26 Modernes Schneidrad

Schleppkopf

Der Schleppkopf ist das Lösewerkzeug der selbstfahrenden Laderaumsaugbagger, die bei seewärtiger Gewinnung oder im Mündungsbe-
reich von Flüssen sowie auf Wasserstraßen eingesetzt werden.

Laderaumsaugbagger können mit einem einfachen Saugrohr ausgerüstet sein und arbeiten dann quasi stationär auf der Gewinnungsstelle als sog. Stechsauger. Diese Methode ist beispielsweise im dänischen Küstenge-
wässer in der Kiessandgewinnung sehr gebräuchlich. Im deutschen offshore Sektor ist dieser Baggermodus jedoch nicht mehr erlaubt, da ein sehr unregelmäßiges Profil der Gewässersohle hergestellt wird.

Vielmehr muss im deutschen Seebereich bei Kies- und Sandgewinnung i.d.R. im trail-Modus mit Schleppkopf gearbeitet werden, was flächenhaf-
ten Abtrag bedeutet. Der Schwimmbagger schleppt einen oder zwei Schleppköpfe von mit einer von der zu baggernden Bodenart sowie der Schnittbreite abhängigen Geschwindigkeit von < 3 kn über den Grund.

Verschiedene Schleppkopftypen sind in Abb. 5-27 dargestellt. Der ge-
bräuchlichste Schleppkopf ist der California-Typ. Der contra-flow-Typ ei-
nes Schleppkopfs ist mit Reißzähnen für Einsatz in bindigen Böden aus-
gestattet. Der IHC Schleppkopf zeichnet sich durch ein bewegliches Visier
aus.

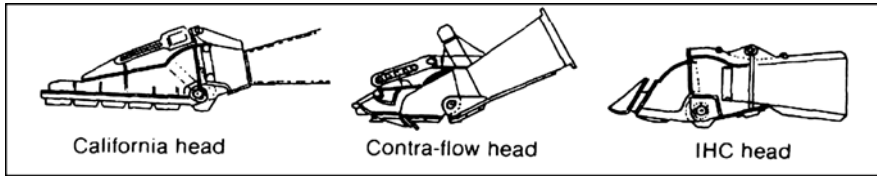


Abb. 5-27 Standardbauarten von Schleppköpfen

Zur Baggerung von sehr feinen, dicht gelagerten Böden wird ein Schleppkopf vom Typ Wild Dragon, Fabr. IHC, gebaut, mit dem dicht gelagerter Boden mittels Hilfe von Druckwasser in hoher Dichte aufgenommen werden kann.

Zum Einsatz in bindigen Böden ist ein Schleppkopfsystem Dracula¹⁶³ bestimmt, bei dem über Düsen Hochdruckwasser zum Lösen in bindigen Boden eingebracht wird (Abb. 5-28).



Abb. 5-28 Druckwasseraktivierter Schleppkopf für Mergelbaggerung (1: Meißel, 2: Druckwasserleitung)

Je nach Lagerungsdichte und Konsistenz des abzugrabenden Bodens ergeben sich Abtragshöhen von $< 1\text{m}$.

Eimer

Gefäßbagger, wie der Eimerkettenbagger, sind mit Eimern als Lösewerkzeug bestückt. In Abb. 5-29 sind Eimerformen für verschiedene Bodenarten und Eimerinhalte dargestellt.

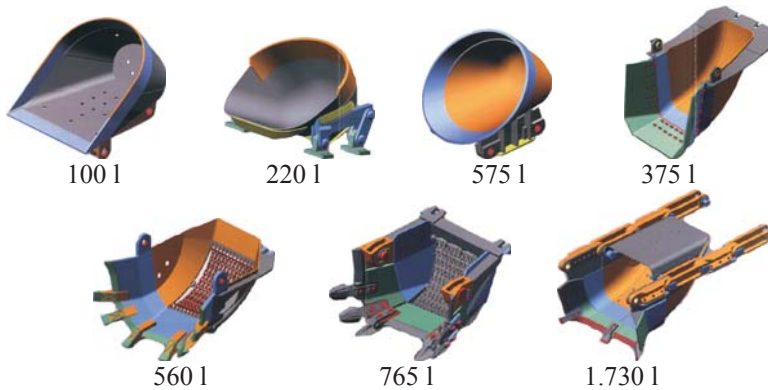


Abb. 5-29 Eimerformen, (o. in lockeren Böden, u. in festeren Böden)¹⁶⁴

Mittels der Eimergröße und -form sowie Ausbildung der Schneidkanten kann man sich an die abzubauenen Bodenverhältnisse anpassen. Beispielsweise ist ein 900 l Eimerkettenbagger wie der Bagger Hansa mit einer max. Baggertiefe von 28 m mit 79 Eimern in Nenngröße bestückt und für die Baggerung von Schlick, Klei und Sand geeignet. Gleiche Leistung am Oberturas unterstellt, kann mit Eimern von 900 l Sand und Schlick gebaggert werden, mit kleineren Eimern mit einem Inhalt von 750 l steife bis feste Tone, mit noch kleineren Eimern < 500 l mit ggf. bewehrten Schneidkanten sogar leichter Fels (Weichgestein).

Greifer

Wesentliches Element des Schwimmgreiferbaggers ist der Greifer, den es in drei Antriebsarten gibt:

- Seilgreifer (Öffnen und Schließen des Greifers durch Seilzug),
- Hydraulikgreifer (Öffnen und Schließen des Greifers durch hydraulischen Antrieb),
- Motorgreifer (elektrischer Antrieb des Schließmechanismus).

Die Hydraulikgreifersysteme sind in der Anschaffung teurer, können jedoch mechanische Kräfte in den Boden einbringen und so auch leicht verfestigtes Material wie Konglomerate (z.B. Nagelfluh) lösen.

Die in der Nassgewinnung eingesetzten Greifer werden in verschiedenen Bauformen hergestellt (Abb. 5-30), hauptsächlich als

- Schalengreifer und
- Polypgreifer.

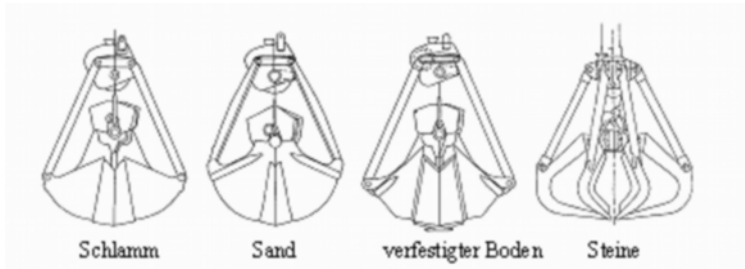


Abb. 5-30 Seilzug-Grabgefäße in Abhängigkeit des Einsatzgebietes

Die Größe der Greifer reicht von wenigen m^3 Inhalt bis zu 200 m^3 . Die Auslegung eines Greiferbaggers richtet sich nach:

- jährlich zu fördernde Menge,
- Baggertiefe und
- Bodenart.

Die Greifergefäße in der Kiessandgewinnung sind zudem mit Entwässerungsschlitzen ausgestattet, um das Baggergut bandförderfähig zu machen. Bei einer späteren Restgewinnung sind die im Zuge der Greiferentwässerung anfallenden hohen Feinsandverluste (Abb. 5-31), die in den Baggersee zurückgeleitet werden und die die Restlagerstätte in aller Regel erheblich ausdünnen, zu beachten. Der Körnungsgehalt der Restlagerstätte wird durch diese Rückleitung erfahrungsgemäß halbiert. Der im Zuge einer Restgewinnung anfallende höhere Sandanteil nimmt oftmals auch erheblichen Einfluss auf die Auslegung der Aufbereitungsanlage.



Abb. 5-31 Entwässerung des Greifer nach dem Heben

Mit einem geschlossenen Grabgefäß können auch locker gelagerte kontaminierte Böden gewonnen werden (Abb. 5-32), da das abgegrabene Baggergut aus dem Greifer während des Hebens durch das Gewässer nicht ausgewaschen werden kann, was der Fall beim offenen Schalengreifer wäre.

Ein Praxisbeispiel eines geschlossenen Greifers ist der sog. Cablearm-Greifer, bei dem Dichtungsmatten den Austritt von Suspension durch die Entlüftungsgitter verhindern, und dessen Grabkurve so angelegt ist, dass sie beim Schließen des Greifers einen ebenen Verlauf hat.



Abb. 5-32 Greifer für Baggerung kontaminierter Böden ¹⁶⁵

Löffel

Tieflöffel sind geschweißte Stahlkonstruktionen mit einer verschleißfesten Schneidkante, die mit Zähnen bestückt werden kann.

Der Nenninhalt des Tieflöffels wird nach allgemeinen Standards berechnet (SAE, CECE oder DIN). Nach Eymer gilt eine anzunehmende Häufung von 1:2 ¹⁶⁶.

Tabelle 5-9 nominales Volumen eines Tieflöffels bei Trockenabgrabung nach verschiedenen Regelwerken

Regelwerk	SAE	CECE	DIN ISO 6483
Böschungsneigung Haufwerk im Löffel (H.L)	1 : 1	1 : 2	1 : 1

Bei Böden wie Sand und Schlack ist der Füllungsgrad unter Wasser generell kleiner als bei Baggerung über Wasser. Dies gilt jedoch nicht für

steife Bodenarten, wie beispielsweise Lauenburger Ton, bei dessen Baggerung der Füllungsfaktor unter Wasser mit dem über Wasser identisch ist.

Die Neigung des Haufwerks im Löffel bei Trockenabgrabung ist in Tabelle 5-9 aufgelistet. In der Nassgewinnung lässt sich solche Haufwerksneigung allenfalls bei Schlickbaggerung erreichen.

5.3.3.2 Antriebs- und Grableistungsberechnung

Die Grableistung P_{Gr} beinhaltet die beim Lösen des Bodens aufzuwendenden Leistungsanteile^{167, 168}

$$P_{Gr} = P_S + P_B + P_F + P_R \quad (5-4)$$

mit

P_{Gr}	Grableistung des Löswerkzeuges
P_S	Schneidleistung, Überwinden des Schneidwiderstandes des Bodens
P_B	Beschleunigungsleistung, Beschleunigen des Baggergutes im Lösewerkzeug
P_F	Füll- und Umwälzleistung, Umformen des Baggergutes während des Lösens und im Lösewerkzeug
P_R	Reibleistung, Reibung des Lösewerkzeuges im Boden, bzw. am mechanischen System (z.B. Eimerkette an Ober- und Unterturas, Laufrollen auf Eimerleiter).

Die Beschleunigungsleistung P_B die Füll- und Umwälzleistung P_F und die Reibleistung P_R des Lösewerkzeuges im Boden sind nicht oder nur sehr schwer zu erfassen. Im Vergleich zur Schneidleistung P_S zum Lösen des Baggergutes aus dem Gebirgsverband sind die Anteile P_B und P_F jedoch meist vernachlässigbar klein.

Die Antriebsleistung P_M des Lösewerkzeuges ist die Summe aller auftretenden Leistungen für das Lösen und Heben

$$P_M = P_{Gr} + P_H + P_V = P_S + P_B + P_F + P_R + P_H + P_V \quad (5-5)$$

mit

P_H	Hubleistung, Heben des Baggergutes
P_V	Verlustleistung (elektrische und mechanische Verluste).

Die Schneidleistung P_S bildet im Allgemeinen den größten Anteil an der Gesamtleistung P_M . Der Verlust P_V wird über den elektrischen bzw. mechanischen Wirkungsgrad η ausgedrückt.

Der Grabwiderstand F_{Gr} in der Literatur teilweise auch als k_L bezeichnet, ist die Summe der Widerstände, die der Boden dem Gewinnungsvorgang entgensetzt. Den größten Anteil hat der Schneidwiderstand.

$$F_{Gr} = F_S + F_B + F_F + F_R \quad (5-6)$$

mit

F_S	Schneidwiderstand
F_B	Beschleunigungswiderstand
F_F	Füllwiderstand
F_R	Reibwiderstand.

Für den spanlösenden Einsatz von Gewinnungsgeräten müssen die Grabkräfte des Baggers $F_{Gr \max}$ größer sein als die Widerstände F_{Gr} des Bodens. Kurze und nicht zu hohe Grabwiderstandsspitzen auf Grund von Unregelmäßigkeiten im Boden können durch die Bewegungsträgheit des Schneidorgans überwunden werden:

$$F_{Gr \max} > F_{Gr} \quad (5-7)$$

und

$$F_{S \max} > F_S \quad (5-8)$$

mit

$F_{S \max}$	Maximaler Schneidwiderstand
F_S	Schneidwiderstand.

Die auftretenden Grabkräfte wirken in drei Richtungen:

- Tangentialkräfte $F_{Gr t}$.
- Sie wirken in Tangentialrichtung zur Arbeitsebene der Schneide und haben für den Grabvorgang die größte Bedeutung.
- Normalkräfte $F_{Gr n}$.
- Sie wirken senkrecht zur Tangentialrichtung der Schneide.
- Seitenkräfte $F_{Gr s}$.
- Sie wirken senkrecht zur Vektorfläche der Tangential- und Normalkräfte.

Grabwiderstände werden als spezifische Werte angegeben, u.zw. für Gefäßbagger bezogen auf die schneidende Messerlänge bzw. die Spanquerschnittsfläche für Eingefäßbagger. Für Schneidkopf- und Schneidradaugbagger wird wegen ähnlicher Löseprozesse wie bei Mehrgefäßbaggern der Grabwiderstand ebenfalls auf die schneidende Messerlänge bezogen.

Der auf die schneidende Messerlänge bezogene spezifische Grabwiderstand F'_{GrI} (spez. Schneidwiderstand) wird aus dessen Tangentialkomponente F_{GrI} abgeleitet. Damit wird

$$F'_{\text{GrI}} = \frac{F_{\text{GrI}}}{l_{\text{Schn}}} \quad (5-9)$$

Der auf den Spanquerschnitt A_{Sp} bezogene spezifische Grabwiderstand F'_{GrA} ist

$$F'_{\text{GrA}} = \frac{F_{\text{GrI}}}{A_{\text{Sp}}} \quad (5-10)$$

Aus Messungen an Schaufelradbaggern wird der Schluss gezogen, dass sich die Schneidkantenlänge l_{Schn} des Grabwerkzeugs besser als Bezugsgröße eignet als der Spanquerschnitt A_{Sp} ¹⁶⁷.

Der spezifische Schneidwiderstand F'_s kann nach denselben Beziehungen ermittelt werden, wenn der tangentielle Schneidwiderstand F_{St} eingesetzt wird.

Die Spangeometrie hängt von der Spanbreite b_{Sp} , der Spandicke a_{Sp} und der Spanhöhe h_{Sp} ab. Die Spanbreite b_{Sp} wird über die Schwenkgeschwindigkeit v_s bestimmt. Abb. 5-33 erläutert die Spangeometrie eines Schaufelradbaggers. Der schwimmende Eimerkettenbagger (BL) wie auch der Schneidradsaugbagger (UCW) löst den Span auf nahezu identische Weise, wenn auch das Verhältnis von Spanbreite und Spandicke beim UCW nicht mit dem beim Eimerkettenbagger übereinstimmt. Beim Scheidkopfsaugbagger ist die Spangeometrie um 90° in der Horizontalen gedreht. Die Spangeometrie des Stelzenpontonbaggers weicht von den oben genannten Baggertypen ab.

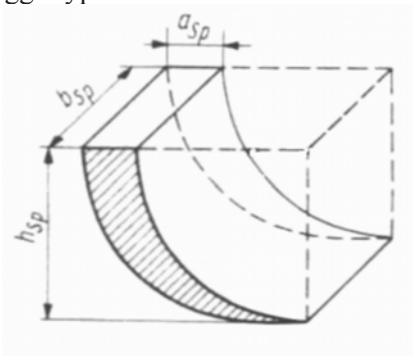


Abb. 5-33 Spanabmessungen (a_{Sp} Spandicke, b_{Sp} Spanbreite, h_{Sp} Spanhöhe)

Schneidkopf

Die erforderliche Schneidkraft F_S ergibt sich aus dem Grabwiderstand k_L des Bodens multipliziert mit der schneidenden Messerlänge l_{Schn}

$$F_S = k_L l_{Schn} \quad (5-11)$$

Es sind jeweils mehrere, meist 3 Schneidarme des Schneidkopfes im Bodeneingriff, jedoch jeweils nur mit einer Teillänge, häufig einem Drittel der Gesamtlänge, so dass die effektiv schneidende Schneidarmlänge gleich der kompletten Länge eines einzelnen Arms entspricht. Die Länge eines Schneidarms kann gleich der Länge des Schneidkopfes l_k angenommen werden. Für flache Schneidarme ohne Meißel, wie z.B. bei locker gelager-tem Sand eingesetzt, gilt damit

$$l_{Schn} = l_k \quad (5-12)$$

In Abb. 5-22 sind die Schnittverhältnisse am Schneidkopf dargestellt. Die Schneidkopflänge l_k wird über den Schneidkopfaußendurchmesser d_{ka} berechnet: Dieser wird nach verschiedenen Ansätzen ermittelt:

Nach Blaum/Marnitz¹⁶¹ gilt

$$l_k = 0,75 d_{ka} \quad (5-13)$$

oder nach Welte¹⁵⁶

$$l_k \approx (0,67 \dots 0,73) d_{ka} \quad (5-14)$$

Falls der Schneidkopfdurchmesser nicht bekannt sein sollte, gilt

$$d_{ka} = C_C d_s \quad (5-15)$$

mit

C_C Koeffizient zwischen 3,0 und 4,0

d_s Saugrohrdurchmesser.

Mit einem Schneidkopfdurchmesser von $d_{ka} = 2,0$ m ergibt sich nach Gleichung 5-13 eine Schneidarmlänge von 1,5 m.

Für die Baggerung von steifem Ton werden heutzutage meißelbesetzte Schneidköpfe (mit sog. chisel bestückte Schneidarme) verwendet (Abb. 5-23, rechts unten). Ein Arm von 1,5 m Länge ist i.d.R. mit ca. 10 Flachmeißeln zu je 8 cm Breite (Schneidkantenlänge) besetzt. Daraus ergibt sich eine schneidende Messerlänge von $l_{Schn} = 0,8$ m.

Für die Berechnung der Antriebsleistung des Schneidkopfmotors wird die Umfangsgeschwindigkeit u des Schneidkopfes benötigt.

$$u = \pi d_{ka} n_U \quad (5-16)$$

mit
 n_U Drehzahl.

Die Drehzahl der Schneidkopfswelle variiert zwischen 5 und 30 Umdrehungen pro Minute. Die Rotation des mehrarmigen Schneidkopfes bewirkt, dass sowohl das umgebende Wasser als auch gelösten Bodenteilchen Drehbewegungen, d.h. Fliehkräfte, erfahren. Diese wirken dem Ansaugvorgang der Baggerpumpe entgegen. Es ist deshalb zur Minimierung von Schneidverlusten notwendig, die Umfangsgeschwindigkeit entsprechend der Bodenart zu begrenzen. Weiter ist zu beachten, dass die Sogwirkung des Saugstromes mit dem Abstand zum Saugmund annähernd mit dem Quadrat des Abstandes abnimmt.

Nach Welte sollte die größte Drehzahl $n_{U\max}$ des Schneidkopfes so begrenzt werden, dass folgende Beziehung erfüllt wird

$$n_{U\max} \leq \frac{63,7}{d_{ka}} \quad (5-17)$$

Mit Erfüllung der Gl. 5-17 wird erreicht, dass die vom Schneidkopf theoretisch geschnittene Fördermenge größtenteils vom Saugstrom erfasst und abgefordert wird. Nach Gl. 5-17 berechnet sich die max. Drehzahl des Beispiels zu $n_U = 32$ Umdrehungen pro min.

Für die Bestimmung der benötigten Antriebsleistung P des Schneidkopfes gilt folgende Formel

$$P = 1,0146 \frac{F_s u}{\eta} \quad (5-18)$$

Schneidrad

Die erforderliche Schneidkraft des Schneidrades F_s ergibt sich analog Gl. 5-11 aus dem Grabwiderstand des Bodens k_L multipliziert mit der schneidenden Messerlänge l_{Schn} .

Die schneidende Messerlänge wird durch die Anzahl der im Boden eingreifenden Schneidbügel, die Anzahl der daran befestigten Zähne und der Zahnbreite bestimmt.

Erfahrungsgemäß befinden sich im rolligen Material vier Schneidbügel während des Baggers im Eingriff. Eine gerade Schneidkante würde auf Grund ihrer Länge infolge von vier Schneidbügeln im Eingriff oftmals viel zu hohe Schneidkräfte benötigen. Unbewehrte Schneidbügel kommen deshalb nur in weichen bindigen bzw. locker gelagerten rolligen Böden zur Anwendung. In fester gelagerten Böden dagegen sind die Schneidbügel mit Meißeln (Zähnen) besetzt, die sich je nach Bodenart durch die Größe

ihrer Aufstandsfläche unterscheiden. Für Tonbaggerung sind je Schneidbügel vier Meißel mit je ca. 5 cm Meißellänge üblich, in verbackenen Böden kommen sog. pick points zum Einsatz. (Abb. 5-67). Die schneidende Messerlänge der im Eingriff befindlichen Schneidbügels ergibt sich damit zu $l_{\text{Schn}} = 4 \cdot 4 \cdot 0,05 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$.

Für die weitere Berechnung der Antriebsleistung des Schneidradmotors wird die Umfangsgeschwindigkeit u des Schneidrades benötigt. Diese wird nicht am Schneidradaußendurchmesser berechnet, sondern in der Mitte des radialen Schneidbügels.

$$u = 2 \pi \frac{d_{\text{ra}}}{3} n_U \quad (5-19)$$

mit

d_{ra} Schneidraddurchmesser.

Die Antriebsleistung wird gemäß Gleichung 5-18 bestimmt.

5.3.4 Beschreibung ausgewählter Nassbagger

Im Folgenden werden die wesentlichen Merkmale von ausgewählten hydraulisch und mechanisch wirkenden Gewinnungsgeräten wie Arbeitsprinzip und Einsatzkriterien erläutert.

Das angeführte Arbeitsprinzip beschreibt charakteristische Eigenschaften des Gerätes, dessen generelle Technik und Ausführung. Weiter werden Rechenansätze zur Dimensionierung der Gerätegröße entsprechend dem Anforderungsprofil angegeben.

Bei der Beschreibung der Einsatzkriterien werden in tabellarischer Form gerätespezifische Kenngrößen, wie:

- die Art des horizontalen und vertikalen Verhiebs,
- die Zielgröße zur Dimensionierung,
- die jeweils minimale und maximale kapazitätbestimmende Kenngröße und
- der gerätespezifische Drehfaktor

aufgeführt. Zudem werden die gerätespezifischen Korrekturwerte für die Berechnung des Drehfaktors angegeben.

Grundsätzlich lassen sich die Nassbagger nach ihrem Wirkprinzip in hydraulische und mechanische Geräte unterscheiden. Nachfolgend werden zunächst die hydraulisch, dann die mechanisch wirkenden Baggergeräte beschrieben.

Die in der Nassgewinnung am häufigsten eingesetzten hydraulisch gewinnenden Geräte sind ¹⁶⁹:

- Grundsaugbagger, mit dessen Varianten:
 - Druckwasseraktivierter Saugbagger,
 - Traktorkettensaugbagger,
 - Saugbagger für große Tiefen,
- Schneidkopf- und Schneidradsaugbagger sowie
- Laderaumsaugbagger.

Grund- und Schneidkopf- sowie Schneidradsaugbagger sowie die Varianten des Saugbaggers, wie der Traktorkettensaugbagger, können sowohl in terrestrischer als auch mariner Umgebung eingesetzt werden.

Im marinen Milieu wird, bis auf den dafür ausgelegten Laderaumsaugbagger, der Einsatz dieser Schwimmbagger durch Seegang stark begrenzt, wenn nicht ausgeschlossen. Wie schon früher ausgeführt, endet der Schwimmbaggereinsatz im Allgemeinen bei Erreichen einer signifikanten Wellenhöhe H_s von 0,7 m. Bei Ausstattung des Saugrohres oder der Schneidkopfleiter mit einem entsprechenden Dünungskompensator kann bis ca. 1,5 m Wellenhöhe, mit dem Laderaumsaugbagger in Wellenhöhen von bis zu ca. 2 m gearbeitet werden.

Wesentliches Element des hydraulischen Baggers ist die Baggerpumpe. In einfachster Bauform ist die Baggerpumpe mittschiffs angeordnet u.zw. i.d.R. so, dass sich der saugseitige Eintritt unter dem Wasserspiegel befindet. Hinter der mittschiffs angeordneten Pumpe kann eine weitere Pumpe als Druckerhöhungsstation nachgeschaltet sein, wenn größere Entfernungen zu überwinden sind.

In der Nassgewinnung wird seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts sehr häufig die erste Pumpe bereits auf dem Saugrohr angeordnet, womit große Saugtiefen möglich gemacht werden. Dabei dient die auf dem Saugrohr installierte Pumpe zur Produktion, die ggf. installierte(n) Mittschiffspumpe(n) als Druckerhöhungsstation(en) zur Weiterförderung des Gemischstroms.

5.3.4.1 Grundsaugbagger

Der Grundsaugbagger (plain suction dredger, SD) ¹⁷⁰ ist das in der Sandgewinnung am häufigsten angewandte Gewinnungsgerät. Er wird in der Bodengewinnung ohne profilgerechte Baggerung im Sohl- und Böschungsbereich eingesetzt ¹⁷¹.

Der Grundsaugbagger ist prinzipiell mit einem geraden oder am unteren Ende geknickten Saugrohr mit dem Durchmesser D_R , einer Baggerpumpe

und einer Windenanlage ausgerüstet (Abb. 5-34). Die Einsatzkriterien des Grundsaugbaggers sind in Tabelle 5-10 und Tabelle 5-11 aufgelistet.

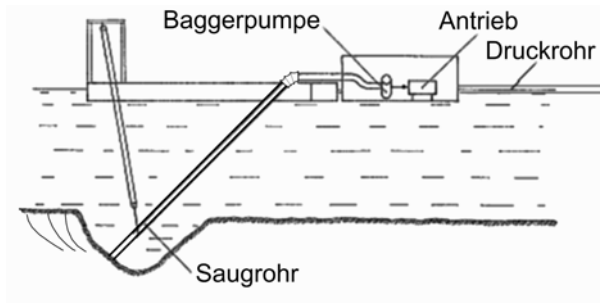


Abb. 5-34 Prinzipskizze eines Grundsaugbaggers

Die zu dimensionierende Zielgröße beim Grundsaugbagger ist primär der saugseitige Rohrrinnendurchmesser D_R . Aus D_R kann dann in Abhängigkeit vom transportierten Mengenstrom Q_{th} die erforderliche Pumpenantriebsleistung errechnet werden.

Tabelle 5-10 Einsatzkriterien des Grundsaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ D, B (Abb. 5-7)
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	Rohrrinnendurchmesser D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. – Max. Durchmesser Saugrohr	150 mm - 750 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor (i.d.R.)	85 %

Tabelle 5-11 Drehfaktorkorrekturwerte des Grundsaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,95
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,80
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,95

Die Baggerpumpe nimmt das Material als Suspension durch den am unteren Ende des Saugrohres befindlichen Saugkopf auf und fördert dies mittels Druckrohr weiter. Die Verankerung und Fortbewegung erfolgt am Vorschiff üblicherweise mittels Seil und Winden und am Achterschiff im einfachsten Fall durch die Rohrleitung. Die maximale Korngröße des zu baggernden Materials ist durch den Pumpendurchgang begrenzt, so dass größere Steine oder Blöcke (> 250 mm) nicht gewonnen werden können.

Durch das Löseverfahren ist der Einsatz des Grundsaugbaggers ohne weitere Lösehilfe auf frei zulaufendes, rolliges Material beschränkt.

Der Saugbagger wird seitlich verholt und schwingt oftmals mit seiner ganzen, starren Rohrleitung um den Landübergangspunkt der Rohrleitung (Abb. 5-35). Dabei werden Furchen gebaggert und es bildet sich eine Sägezahnstruktur auf der nach Baggerung entstandenen Sohle aus. Der Abstand der Furchen ist bedingt durch die Länge des jeweils beim Vorholen zwischengebauten Rohrstücks der Schwimmleitung von i.d.R. 3 m. Dadurch ergeben sich relativ hohe söhlige Gewinnungsverluste neben ohnehin schon oft erheblichen Gewinnungsverlusten im Böschungsbereich.

Die Gewinnungsverluste in der Böschung ergeben sich im Vergleich zur Soll-Böschungsneigung infolge der nach Anschnitt steiler stehenden Ist-Böschungsneigung. Um solche Verluste zu vermeiden, wird die Soll-Böschungslinie oftmals unterschritten. Dies ist jedoch unzulässig, da die Ist-Böschung sich u.U. langfristig flacher einstellen kann und schlimmstenfalls Feldesgrenzen überschritten und damit Eigentumsrechte Dritter verletzt werden können.

Je nach Ausstattung der Schwimmleitung können die söhligen Verluste vermindert werden, indem entweder nach Einbau eines sog. Knickgelenkes in die starre Rohrleitung mehr oder weniger rechtwinkelig zur bisherigen Schnittführung gebaggert wird oder allerdings deutlich teurere, semi-starre (Abb. 5-36) oder flexible Schwimmrohrleitungen (Abb. 5-37) verwendet werden.

Minimale Gewinnungsverluste in der Böschung können häufig nur durch Einsatz einer anderen Geräteart erreicht werden, z.B. eines Schneidkopf- oder Schneidradsaugbagger, eines landgestützten Hydraulikbaggers mit Profilausleger oder Schleppschaufelbaggers.

Saugbaggerung ist in fließgefährdeten Böden bei der Baggerung der Endböschung oft nur sehr unwirtschaftlich einzusetzen, da einerseits wegen geringerer Zulaufmenge keine volle Produktion zu erreichen ist und, um das Risiko eines Böschungsbruches auszuschließen, andererseits erhöhte Gewinnungsverluste entstehen. Es ist deshalb zu überlegen, ob die Böschungsbaggerung nicht mittels anderer Geräteart und im Fremdbetrieb im Zuge einer Lohnbaggerei ausgeführt wird. In jedem Fall ist bei Gewinnung in solchen Böden eine Abbaukontrollanlage einzusetzen.

Erst seit Verfügbarkeit verschleißfesterer Stähle wurde der Saugbagger auch vermehrt in der Kiesgewinnung eingesetzt und beginnt in zunehmendem Maße, den Schwimmgreifer zu verdrängen.



Abb. 5-35 Rohrleitung starr



Abb. 5-36 Rohrleitung semi-flexibel



Abb. 5-37 Rohrleitung flexibel

Die im Kiessandabbau mit ca. 400.000 t/a Produktion betriebenen Grundsaugbagger haben i.d.R. installierte Leistungen von 150 kW bis 600 kW. Die Leistung von 150 kW reicht aus, einen Kiessand aus 15m Tiefe mit einem Kiesanteil 2/16 von 30 Ma.-% und einem Bodenanteil im Gemischstrom von < 15 Ma.-% über eine Entfernung von ca. 200 m zu fördern.

Während die maximale Gewinnungstiefe von Saugbaggern bis ca. 1990 noch ca. 40 m betrug, werden seit einiger Zeit Saugbagger bis zu einer Entnahmetiefe von 100 m gebaut (Abb. 5-38). In o.g. Fallbeispiel beträgt die erforderliche Antriebsleistung ca. 300 kW.



Abb. 5-38 Saugbagger für Kiessandgewinnung aus 100 m Tiefe

Druckwasseraktivierter Grundsaugbagger

Der reine Grundsaugbagger ist, wie oben beschrieben, auf lockeres, frei zulaufendes Material angewiesen.

Um auch leicht bindige Böden oder kohäsive Feinsandschichten lösen zu können, wird der Grundsaugbagger mit einer Lösehilfe ausgestattet, einer sog. Druckwasseranlage. Die im Markt gebräuchliche Bezeichnung „Jetwasseranlage“ ist nicht korrekt. Eine Jetwasseranlage ist ein System in dem Druckwasser im Saugrohr in Richtung Pumpe eingespritzt wird, um den Unterdruck und somit die Saugwirkung zu unterstützen (Abb. 5-45).

Ziel der Druckwasseraktivierung ist jedoch, das Porenvolumen des zu fördernden Bodens zu vergrößern und dadurch den Boden fließfähiger zu machen. Zu beachten ist, dass die Wirkleistung des Druckwassers exponentiell mit zunehmender Entfernung des Saugkopfes von der Ortsbrust sinkt.

Weiter ist zu beachten, dass die Anzahl der Düsen auf eine oder zwei Stück begrenzt werden sollte, um ein optimales Ergebnis beim Lösen zu erhalten.

I.d.R. hat eine solche Druckwasseranlage, bestehend aus Kreiselpumpe, Rohrleitung und Verteiler am Saugkopf, eine installierte Leistung von 80 bis 100 kW, und erzeugt einen vergleichsweise niedrigen Druck von 6 bis 8 bar sowie einen Förderstrom von 400 bis 800 m³/h (Abb. 5-39).



Abb. 5-39 Druckwasseraktivierter Saugkopf (l. diffuser Niederdruckwasserstrahl ¹⁷², r. gerichteter Hochdruckwasserstrahl)

Die Einsatzkriterien und Drehfaktorkorrekturwerte des druckwasseraktivierten Saugbaggers sind Tabelle 5-12 und Tabelle 5-13 zu entnehmen.

Tabelle 5-12 Einsatzkriterien des druckwasseraktivierten Saugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ D (B)
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D _R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. - Max. Durchmesser Saugrohr	150 mm - 750 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	85 %

Tabelle 5-13 Drehfaktorkorrekturwerte des druckwasseraktivierten Saugbaggers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,80

Der mit Niederdruckwasser aktivierte Saugbagger ist nicht in der Lage, verfestigte Böden oder mächtigere bindige Zwischenmittel zu durchhörtern. Vor allem in glazial geprägten, konsolidierten oder gar karbonatisierten fluvialen Lagerstätten ist die Löseleistung nicht ausreichend.

In solchen Lagerstätten bietet sich an, eine Hochdruckanlage, bestehend aus Kolbenpumpe, Rohrleitung und Verteiler zu installieren, mit der Drücke von 200 bis 500 bar bei einem Förderstrom von < 10 m³/h erzeugt

werden. Die Leistungsaufnahme beträgt wie bei der Druckwasseranlage $< 100 \text{ kW}$.

Grundsaugbagger mit Traktorkette

Der Traktorkettensaugbagger ist eine relativ neue Entwicklung, bei der um das Saugrohr eines Grundsaugbaggers eine mit Mitnehmern ausgestattete Traktorkette läuft (Abb. 5-41). Die Saugmundöffnung wird auf die Spaltbreite der umlaufenden Kette eingegrenzt. Die Traktorkette ist in der Lage, leicht verfestigte und bindige Zwischenschichten zu durchhören, so dass darunter befindliche Lockergesteinsschichten gewonnen werden können. Zudem werden Steine, die den Aufbereitungsprozess behindern, durch Mitnehmer auf der Kette aus der Umgebung des Saugmundes entfernt. Mittels der Mitnehmer zu Tage geförderte Steine werden in eine längsseits liegende Schute verkippt und entweder im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen im Uferbereich verbaut oder an Land zu weiterer Verwendung verbracht.

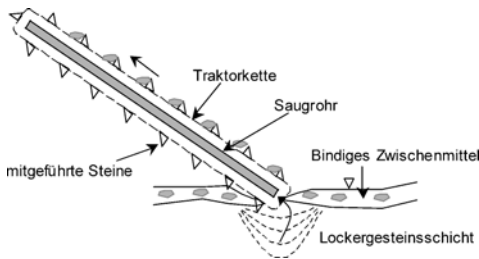


Abb. 5-40 Prinzipskizze des Saugrohrs mit Traktorkette



Abb. 5-41 Traktorkettensaugbagger Fabr. FFA Fiebig, Braunschweig

Die oftmals geübte Verkipfung direkt an der Baggerlokation ist weniger zu empfehlen, da die Steine einerseits einen Wertstoff darstellen, z.B. als Gartenbausteine oder nach Zerkleinerung zur Aufbesserung des Kör-

nungsgehaltes, und andererseits in den Baggerschnitt zurückfallen und damit die Produktion erneut erheblich behindern. Die Einsatzkriterien und Drehfaktorkorrekturwerte sind Tabelle 5-14 und Tabelle 5-15 zu entnehmen.

Tabelle 5-14 Einsatzkriterien des Traktorkettensaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ D
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. - Max. Durchmesser Saugrohr	150 mm - 750 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	75 %

Tabelle 5-15 Drehfaktorkorrekturwerte des Traktorkettensaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,85
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.2 Saugbagger für große Tiefen

Beim Grundsaugen aus großer Tiefe wird das Lösen aus dem Anschnitt und Heben des Bodens über die Wasseroberfläche mittels 3 verschiedener Löseverfahren¹⁷³ erreicht, und zwar mittels Saugkraft durch:

- eine Unterwasserpumpe, d.h. eine hydraulische Förderung (Baggerpumpe, (Abb. 5-42a),
- Zugabe von Druckluft in einer Mischkammer, d.h. im Airliftverfahren (Luftkompressor, Abb. 5-42b)¹⁷⁴,
- Zugabe von Wasser aus einer Strahldüse, d.h. im Jet-Liftverfahren (Strahlpumpe, Abb. 5-42c).

Der Vorteil des Druckluftverfahrens liegt darin, dass auch sehr ungleichförmiges Material mit einer weiten Korngrößenverteilung gefördert werden kann. Die Mitförderung von Steinen und kleineren Blöcken (< 300 mm) wird nicht durch den zulässigen Kreiseldurchgang gehindert sondern allein durch den Rohrdurchmesser bestimmt.

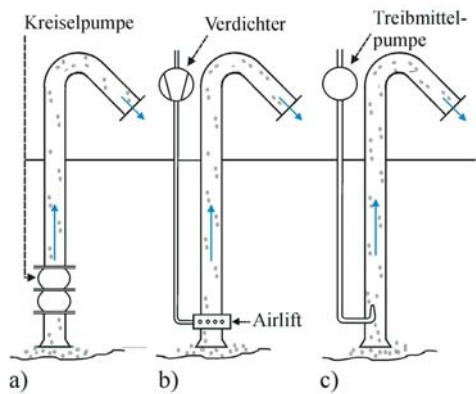


Abb. 5-42 Schematische Darstellung der 3 Tiefsaugverfahren nach Grabow

In Tabelle 5-16 sind beispielsweise für die Gewinnung von 1.000 m³/h Kiessand aus 15 m Tiefe bei einer Feststoffkonzentration von 20 % und einem Rohrdurchmesser von 300 mm die Wirkungsgrade der Bodenförderung der 3 Verfahren dargestellt. Diese unterscheiden sich, wie der Tabelle zu entnehmen, erheblich.

Tabelle 5-16 Wirkungsgrade der Bodenaufnahme verschiedener Tiefsaugverfahren bei gleichen Einsatzbedingungen nach Grabow ¹⁷³

Verfahren	Wirkungsgrad η
Unter Wasser-Pumpe (Kreiselpumpe)	38
Druckluftpumpe (Airliftverfahren)	8
Strahlpumpe (Jetliftverfahren)	5

Bei der vergleichenden betriebswirtschaftlichen Betrachtung der 3 Verfahren ist weiter der horizontale Transport zu berücksichtigen. Bei Einsatz einer Kreiselpumpe kann das gelöste und gehobene Bodenmaterial auch horizontal über eine größere Strecke gefördert werden, ohne dass es zusätzlicher Fördereinrichtungen bedarf. Diese Strecke beträgt normalerweise bis zu ca. 500 m Rohrleitungslänge, ohne dass es einer Druckerhöhungsstation bedarf.

Airlift- und Jetverfahren benötigen dagegen zusätzliche Ausrüstung für den Horizontaltransport.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte sind in Tabelle 5-17 und Tabelle 5-18 angegeben.

Grundsaugen aus großer Tiefe kann bei Abbau mächtiger Kiessandlagern im alpinen Raum erfolgen ¹⁷⁵, beispielsweise am Oberrhein oder im Bereich der Schweizer Seen. Im Bereich der Nassbaggerei wird diese Gewinnungstechnik bei der Unterhaltungsbaggerung von Talsperren oder zur Landgewinnung angewendet (Abb. 5-43).



Abb. 5-43 Japanischer Tiefsauger mit Unterwasserkreiselpumpe und flexibler Saugleitung bei Unterhaltungsbaggerung in einer Talsperre (Baggertiefe bis zu 100m)

So gewann der Tiefsaugbagger „Decima“ bereits Ende der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts Sand aus 120 m Tiefe für ein Landgewinnungsprojekt in Japan. Dazu waren 2 Unterwasserpumpen in die starre Saugleitung eingebaut.

Grundsaugen aus großer Tiefe wird auch bei der Gewinnung mariner Seifen eingesetzt, z.B. bei der Gewinnung von Diamanten vor der Küste

Namibias mittels des THSD Vasco da Gama in ca. 100 m oder Gewinnung aus sehr großer Tiefe von 1.700 m mit dem Tiefsaughopper Jules Verne.

Tabelle 5-17 Einsatzkriterien des Tiefsaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ A, B
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
min-max. Durchmesser Saugrohr	300 mm - 750 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	85 %

Tabelle 5-18 Drehfaktorkorrekturwerte des Tiefsaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,85
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

Dieser gegenwärtige Neubau ist ein Laderaumbagger mit 10.000 m³ Laderaumvolumen, der dynamisch über der Gewinnungsstelle positioniert werden kann. Die Gewinnung von Schwermineralerzen erfolgt mit Hilfe von bis zu 5 Druckerhöhungsstationen von jeweils 600 kW installierter Leistung nach Lösen des Erzes mit einem Schneidkopf crawler.



Abb. 5-44 Airliftbagger mit Aufbereitungsanlage ¹⁷⁶

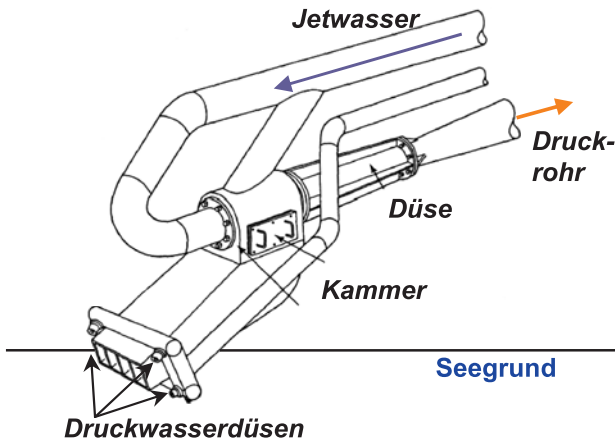


Abb. 5-45 Tiefsauger mit Jetwasser Injektion in das Saugrohr, Fabr. Genflo ¹⁷⁷

Die Arbeitsweisen der Tiefsaugbagger entsprechen denen eines Grundsaugbaggers.

Der Airliftbagger (Abb. 5-44) löst das Material durch Unterdruck an der Eintrittsöffnung des Rohres. Der Unterdruck wird durch Luft erzeugt, die oberhalb des Eintrittes in das Rohr eingebracht wird und durch Expansion und Aufwärtsbewegung Wasser und Feststoffpartikel mit sich reißt. Das Saugrohr wird senkrecht vom Ponton in die Lagerstätte abgelassen und kann durch das hohe Eigengewicht des Rohres auch leicht verfestigte oder bindige Zwischenmittel durchstoßen.

Der Saugmund des Fabrikates der Fa. Press-Air Systems ist als rotierender Lösekopf ausgebildet (Abb. 5-46 rechts). Die Druckluft wird im Saugmundinneren zugeführt.

Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Airliftbagger sowohl locker gelagertes Material mit geringen Korngrößen, z.B. Quarzsande, als auch heterogen verteilte, grob klastische Kiese und Steine gewinnen kann.

Nachteilig sind der geringe Wirkungsgrad der Bodenförderung sowie die minimal zulässige Arbeitstiefe von ca. 10 m, da der hydropneumatische Wirkungsgrad und damit die Gewinnungsleistung in geringen Tiefen überproportional abnimmt.

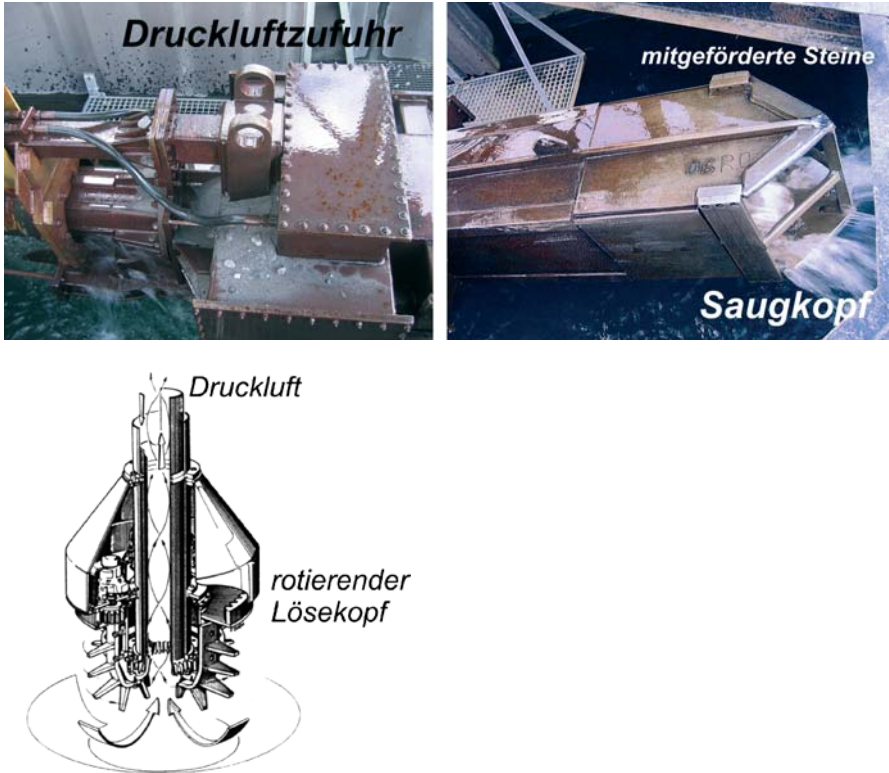


Abb. 5-46 Saugkopf Airliftbagger (oben Fabr. Winter: l. Druckluftzufuhr an Teleskoprohr; r. Standard Saugmund, Kopf in gehobener Position; unten Fabr. Press-Air Sytem: Druckluftinjektorkopf¹⁷⁸⁾)

Das Material wird auf dem Gewinnungsgerät mittels Schuten, Bagger-Kreiselpumpe oder mechanischer Förderung nach einer Vorentwässerung zur Vorhalde verbracht. In dieser Konstellation wird die Nassgewinnung mittels Druckluftbagger wegen des hohen energetischen Aufwandes für Druckluftherzeugung einerseits und den horizontalen Transport andererseits im Vergleich zum Grundsaugbagger sehr teuer. Eher eignet sich der Druckluftbagger bei Integration in eine schwimmende Aufbereitungsanlage, bei der nur kurze Förderwege zu überwinden sind (Abb. 5-44).

Einsatzkriterium und Drehfaktorkorrekturwerte des Druckluftbaggers sind in Tabelle 5-19 und Tabelle 5-20 angegeben.

Tabelle 5-19 Einsatzkriterien des Airliftbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ A, B
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. - Max. Durchmesser Saugrohr	200 mm -500 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	85 %

Tabelle 5-20 Drehfaktorkorrekturwerte des Airliftbaggers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,95
Schwieriges Terrain	0,90
Widrige klimatische Bedingungen	0,80
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,95

Hydrotransportgerät für große Tiefe

Eine Verbesserung der vorstehend beschriebenen Einrichtungen insbesondere für Gewinnung aus großer Tiefe soll nach Darstellung russischer Forschungsergebnisse durch Anpassung der Konstruktionsparameter der Aufgabeapparat, der Wasserstrahlpumpen, Airliftpumpen und deren Kombination erfolgen können¹⁷⁹.

Die Arbeitsweise des Hydrotransportgerätes, die auf der Verwirbelung eines Flüssigkeits – Feststoffgemisches beruht, hängt von der Konstruktion der Saugmündes ab (Abb. 5-47). Dieser besteht aus zwei coaxialen Stutzen: dem Einspülstutzen (1) und dem Stutzen der aufwärts gerichteten Entladung (2). Um den aufwärts gerichteten Wasserstrom zu erhalten, wird Wasser über den Stutzen (3) in den Ringraum gedrückt. Es kommt zu einer Wirbelbildung und damit zu einem Energieeintrag. Diese Verwirbelung wird genutzt, um am unteren Ende des Stutzens (1) ein Flüssigkeits – Feststoffgemisch zu erzeugen, welches durch das Mittelrohr (1) nach oben geführt wird.

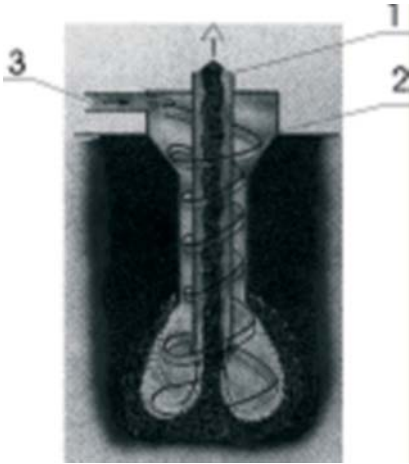


Abb. 5-47 Saugmund Hydrotransportgerät (1: Einspülstutzen, 2: Löschen, 3: Wasserzufuhr)

Ein hoher ökonomischer und ökologischer Nutzen sowie ein hoher Zuverlässigkeitsgrad dieser Technologie werden ermöglicht durch:

- die Anpassung an konventionelle Rohrleitungen bei der Basis - Apparatur und das Fehlen jeglicher beweglicher oder rotierender Teile,
- Senkung des Energieverbrauchs des technologischen Prozesses (etwa 2-3 mal geringer als eine gewöhnliche Schlammpumpe) dank der Möglichkeit der Bildung und Zuführung von hochkonzentrierten Gemischen aus bedeutend größeren transportierbaren Teilchen,
- Reduzierung des abrasiven Verschleißes der dadurch erreicht wird, dass kein Kontakt zwischen den festen Teilchen und den sich drehenden Teilen des Aggregates stattfindet,
- Möglichkeit der Extraktion von wertvollen Komponenten beim Transport.

5.3.4.3 Schneidkopfsaugbagger

Der Schneidkopfsaugbagger (cutter suction dredger, CSD) (Abb. 5-48) ist ein Saugbagger mit einem vor dem Saugmund drehenden Lösewerkzeug, i.d.R. in Form einer Krone gebaut. Der mechanisch geschnittene, „gefräste“ Boden wird unter Wirkung des mit der Kreiselpumpe erzeugten Unterdrucks angesaugt, gehoben und weitergefördert.

Mit dem Schneidkopfsaugbagger lassen sich relativ ebene Flächen herstellen (Abb. 5-49) und es kann im Böschungsbereich kontrolliert oder semi-kontrolliert gearbeitet werden.

Im Gegensatz zum einfachen, über Seile verankerten Grundsaugbagger ist der Schneidkopfsaugbagger vorn über 2 Seiten-Verholwinden und hinten über den Arbeitspfahl bzw. beim Vorholen über den Haltepfahl verankert. Die beim Schneiden auftretenden Kräfte werden über den sich am Achterschiff befindenden sog. Arbeitspfahl wieder in den Untergrund eingeleitet. Der Arbeitspfahl als auch der i.d.R. baugleiche Haltepfahl des Schneidkopfsaugbaggers haben Durchmesser von ca. 250 bis 1.500 mm. Die Pfahllänge ist ein limitierender Faktor bezüglich der baggerbaren Wassertiefe.

Für Tiefen größer ca. 25 m u.Wsp. wird der Pfahl durch die christmas tree Windenanlage ersetzt. Diese Fixierung führt zu größeren Baggertoleranzen, die in der Nassbaggerei Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit nehmen können, jedoch in der Nassgewinnung i.d.R. keine Rolle spielen.

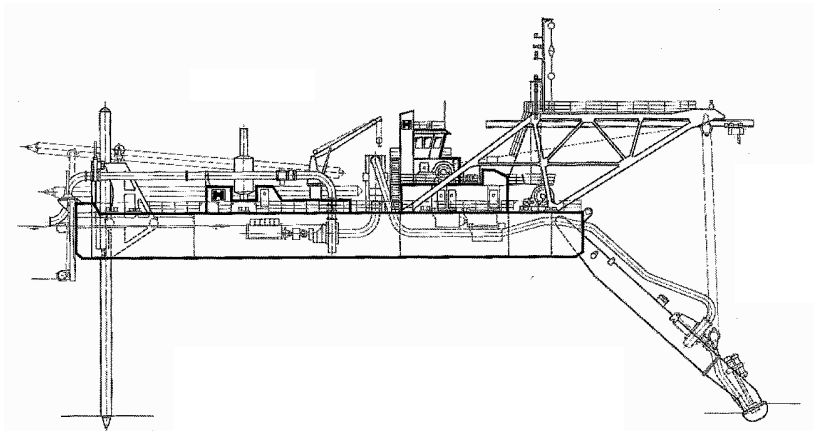


Abb. 5-48 Aufbau eines Schneidkopfsaugbagger

Je nach Größe des Gerätes und herzustellender Baggertiefe ergeben sich Schnittbreiten von 30–80 m. Die Scheiben- bzw. Bankhöhe und die Schnitttiefe hängen von der Bodenart ab. Im Sand beträgt die Scheibenhöhe bis zu 5,0 m und die Schnitttiefe bis zu 1,0 m. Bei dichter gelagerten schluffigen Feinsanden nehmen Bankhöhe und Schnitttiefe entsprechend der am Schneidkopf verfügbaren Schneidkraft ab.

Entscheidend für den Einsatz eines Schneidkopfsaugbaggers ist oftmals der Umstand, dass die vergleichsweise geringsten Gewinnungsverluste anfallen und die Endböschungen mit diesem Gerät plangemäß hergestellt werden können (Abb. 5-13). Die Gewinnungsverluste aus Sohl- und Böschungsbaggerung können damit auf weniger als 0,5 t je m² Wasserfläche reduziert werden. Restgewinnung mit einem anderen Gerät wird nicht er-

förderlich oder erhöhte Gewinnungsverluste im Böschungsbereich fallen nicht an.



Abb. 5-49 Abbauspuren eines Schneidkopfsaugbagger in einem Tagebau nach Abpumpen des Wassers¹⁸⁰

Da beim Schneidkopfsaugbagger durch den aktiven Löseprozess Kräfte in den Boden eingetragen werden müssen, ist der Schneidkopfsaugbagger i.A. stabiler gebaut als der Grundsaugbagger. Die Investitionssummen sowie die Herstellkosten der Nassgewinnung sind je nach Antriebsleistung und Verschleiß des Schneidkopfes i.d.R. erheblich höher als beim Grundsaugbagger.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Schneidkopfsaugbaggers sind in Tabelle 5-21 und Tabelle 5-22 angegeben.

Tabelle 5-21 Einsatzkriterien des Schneidkopfsaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ B (D)
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
min-max. Durchmesser Saugrohr	250 mm - 1000 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	80 %

Tabelle 5-22 Drehfaktorkorrekturwerte des Schneidkopfsaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,60
Unterbrochene Verladung	0,85
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.4 Schneidradsaugbagger

Der Schneidradsaugbagger (cutter wheel dredger, CWD) entspricht hinsichtlich der technischen Ausführung dem Schneidkopfsaugbagger, ist jedoch anstelle des Schneidkopfes mit einem Schneidrad ausgerüstet, das senkrecht zur Saugrohrachse rotiert (Abb. 5-50). Durch diese Anordnung wird ein Teil der Lösekräfte durch das Saugrohr aufgenommen, so dass die Anforderungen an die Verwindungssteifigkeit der Baggerleiter geringer sind als beim CSD.

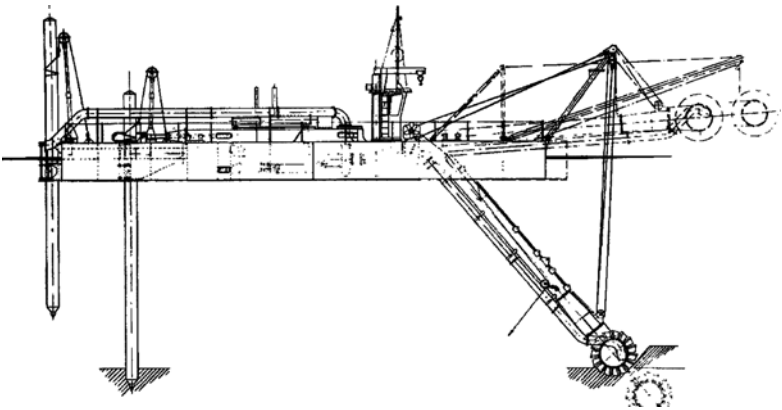


Abb. 5-50 Aufbau des Schneidradsaugbaggers

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Schneidradsaugbaggers sind in Tabelle 5-23 und Tabelle 5-24 angegeben.

Tabelle 5-23 Einsatzkriterien des Schneidradsaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ B (D)
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. – Max. Durchmesser Saugrohr	250 mm - 1000 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	80 %

Tabelle 5-24 Drehfaktorkorrekturwerte des Schneidradsaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,65
Unterbrochene Verladung	0,85
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.5 Laderaumsaugbagger

Der Laderaumsaugbagger (trailing hopper suction dredger, THSD) wird in der Nassbaggerei vornehmlich zu Neubau- und Unterhaltungsbaggerungen auf Wasserstraßen und Hafenbecken sowie zur Landgewinnung eingesetzt (Abb. 5-51).

Seit ca. 1990 wird der THSD, nachdem genügend große Einheiten mit einem Laderaumvolumen von 15.000 m³ bis 35.000 m³ zur Verfügung stehen, auch für den Bodentransport über große Strecken eingesetzt, wie z.B. für die Mega-Landgewinnungsprojekte in Singapur und Hongkong mit einem Bedarf von mehr als 1 Mrd. m³, wobei der Sand über mehr als 150 km Entfernung aus Indonesien antransportiert werden muss.

Der THSD gewinnt heute i.d.R. im Schleppmodus (trailend). Früher wurden häufiger auch mit einem Stechrohr ausgerüstete im stationären Betrieb arbeitende Laderaumsaugbagger zur Bodengewinnung eingesetzt.

Die Beladung eines Laderaumsaugbaggers erfolgt auf zweierlei Art:

- im Überlaufverfahren bei Sandgewinnung und
- im Beladeverfahren nach Klassieren bei Kiesgewinnung.

Der Boden wird i.d.R. über ein Saugrohr, das mit einem Schleppkopf ausgerüstet ist, aufgenommen und in den Laderaum gefördert (Abb. 5-51).

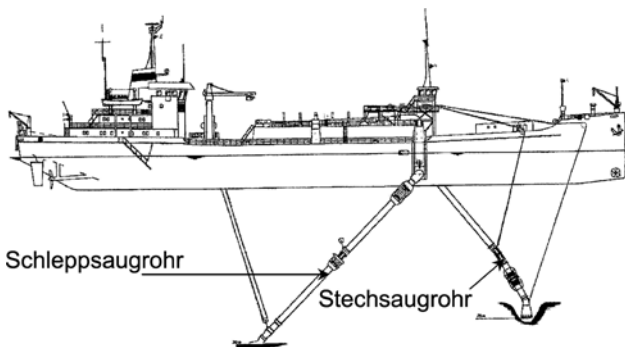


Abb. 5-51 Prinzipskizze des Laderaumsaugbaggers mit Stech- und Schleppsaugrohr

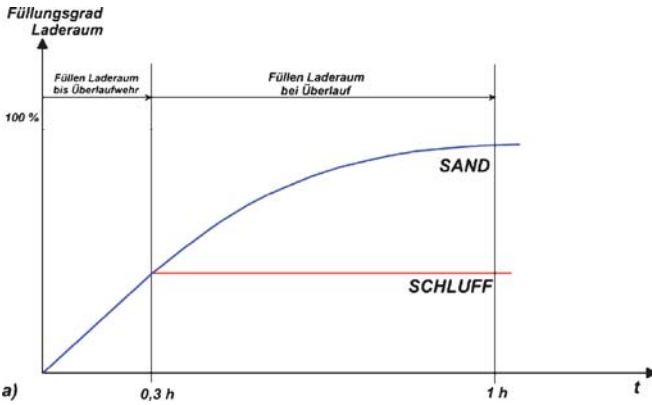


Abb. 5-52 Prinzipielle Beladungskurve (Zeit-Fülldiagramm) eines THSD

Die Förderung schluffigen Materials wird eingestellt, wenn sich kein Material mehr absetzt, d.h. der Ast der Ladekurve in Abb. 5-52 und Abb. 5-53 nicht mehr ansteigt.

Bei Baggerung von Sand ist erfahrungsgemäß die optimale Füllung bei ca. 85 % Laderauminhalt erreicht. Bei diesem Füllungsgrad halten sich die Bodenverluste im Zuge der Überlaufbaggerung noch in vertretbaren Grenzen. Bei Schluff und Feinsand erfolgt das Ende der Baggerung bereits bei geringerer Füllung.

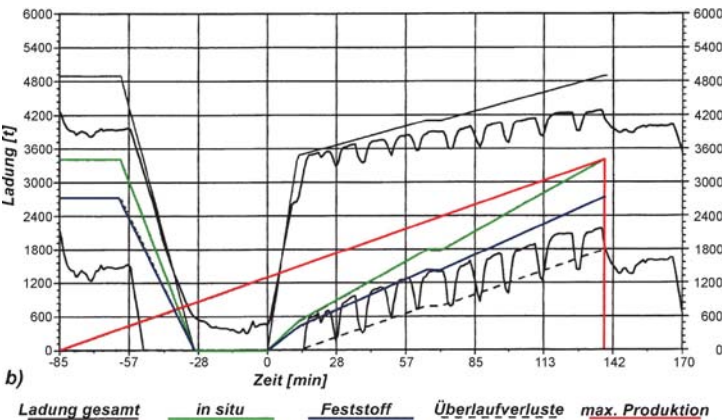


Abb. 5-53 gemessene Beladungskurve eines Laderaumsaubaggers bei Baggerung von Feinsand

In Zusammenhang mit der Nassgewinnung von Kies werden THSD mit einer Siebanlage an Bord ausgerüstet. Ziel ist, möglichst viel Körnung 2/x anzulanden. Dazu wird der Sand bereits auf der Gewinnungsstätte abgetrennt und auf den Seegrund zurück verbracht. Dies führt allerdings zu einer Ausdünnung der Lagerstätte.

Während man in der Nassbaggerei davon ausgeht, dass der Laderaum wegen entsprechender Dimensionierung der Baggerpumpenanlage einschl. des Saugrohres unabhängig von dessen Größe binnen ca. 1 h gefüllt wird, dauert in der Nassgewinnung die Beladung mit Kies der Fraktion 2/x wegen der Klassierung ca. 8-10 h. Erfahrungsgemäß ist die Wirtschaftlichkeit der Gewinnung und Aufbereitung bei einer Transportentfernung von < 150 m bis zu einer Ladezeit von ca. 15 h gegeben, ausgehend von einem in situ Körnungsanteil von ca. 35 Ma.-% Kies.

Nach Klassieren des Sandes mittels stationärer Siebe -wegen der Schiffsbewegung im Seegang werden keine Schwingsiebe eingesetzt- wird der Kies von ca. 35 Ma.-% auf ca. 60-90 Ma.-% angereichert. Je höher der Kiesanteil im Laderaum ist, umso wirtschaftlicher ist die seegehende Gewinnung.

Die zum Abbau bestimmten Felder im deutschen Sektor der Nord- und Ostsee unterliegen dem Bergrecht. I.d.R. erfolgt Mehrstreifenabbau. Die Bewilligungsfelder haben im Vergleich zu terrestrischen Vorkommen sehr große Flächen mit einer Größe zwischen 10 und 500 km². Der Abbau darf nur flächenhaft stattfinden, ohne dass Vertiefungen in Form von Löchern gebaggert werden, wodurch zum einen die Flächengröße bedingt ist. Zum anderen ergibt sich die Abbautiefe aus dem durchschnittlichen Grenzgehalt des Wertminerals, dem sog. average cut off grade. Dieser ist für Kies beispielsweise bei den deutschen Vorkommen in der Nordsee oftmals nach ca. 1,5 m Abbautiefe erreicht.

In der Kiesgewinnung werden überwiegend Laderaumsaugbagger mit 2.000 m³-5.000 m³ Laderauminhalt eingesetzt. Um diese großen Mengen in wirtschaftlichen Zeiträumen zu gewinnen, sind die Laderaumsaugbagger mit einem oder zwei relativ großen Saugrohren ausgestattet, die eine Gemischleistung bis zu ca. 8.000 m³/h erbringen können. Um die Gewinnungsleistung zu maximieren, ist der Schleppkopf mit Reißzähnen, mechanischen Löschhilfen, druckwasseraktiviert und/oder mit verstellbaren Visieren ausgerüstet. Zudem verfügt der Laderaumsaugbagger überwiegend über Unterwasserpumpen, um die Effizienz des Saugprozesses zu optimieren.

Überlaufbaggerung

Die sog. Überlaufbaggerung erfolgt, nachdem der Laderaum mit Boden-Wasser-Gemisch beladen ist und das Wasser im Laderaum durch weiteres

Absetzen von Boden verdrängt werden muss. Dabei werden Bodenanteile über das Überlaufwehr gespült und es entstehen die sog. Überlaufverluste. Die Überlaufverluste bestehen zum größeren Teil aus feinerem Körnungen, insbesondere aus der Fraktion $< 0,063 \mu\text{m}$.

Abb. 5-16 zeigt die Korngrößenverteilungen des gewachsenen Bodens sowie die des Laderauminhaltes. Die Differenz der beiden Kurven sind Verluste im Zuge des Beladens.

Als Überlaufverluste werden die Anteile des Boden-Wasser-Gemisches bezeichnet, die den Laderaum direkt aus dem Überlauf wieder verlassen ohne sich in ihm abzusetzen. Deren Höhe ist entscheidend für das effektive Beladungsvolumen des Laderaumsaugbaggers und die Dauer der Beladezeit. Das Verhältnis zwischen erzielbarem Beladevolumen und Anteil der Überlaufverluste ist angenähert direkt proportional.

Die effektiv erreichten Laderauminhalte haben direkte Auswirkung auf die Anzahl der benötigten Baggerzyklen.

Ab einem bestimmten Beladezustand (bei 80-90 % des Nenn-Laderauminhaltes) nehmen die Überlaufverluste stark zu, da sich nur noch geringe Anteile im Laderaum absetzen. Der Beladevorgang wird dann eingestellt und das bereits geladene Material zur Entladestelle verbracht.

Bei der Berechnung der kritischen Korngröße des Überlaufverlustes wird der Laderaum als idealisiertes Längsklärbecken mit einem Füllungsgrad von ca. 50 % betrachtet. Das Prinzip aller Klärbecken ist, dass alle Partikel ausgetragen werden, deren Sinkgeschwindigkeit niedriger als die Horizontalgeschwindigkeit der Gemischströmung ist.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Laderaumsaugbaggers sind in Tabelle 5-25 und Tabelle 5-26 aufgelistet.

Tabelle 5-25 Einsatzkriterien des Laderaumsaugbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ E
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	D_R [mm], inst. Pumpenleistung [kW]
Min. - Max. Durchmesser Saugrohr	500 mm - 1250 mm
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-26 Drehfaktorkorrekturwerte der Einsatzkriterien des Laderaumsaugbaggers

Ungeübtes Personal	0,70
Unterbrochene Verladung	-
Schwieriges Terrain	0,85
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.6 Tieflöffelbagger

Der landgestützte Tieflöffelbagger mit Kettenlaufwerk arbeitet im Nassen von der Uferkante aus. Die Ausführung des Gewinnungsgerätes entspricht der bei der Trockengewinnung von Lockergestein.

Aufgrund der Gefahr, den eigenen Arbeitsbereich zu unterhöhlen, ist auf eine flache Böschungsbaggerung zu achten. Dadurch ist die zu baggernden Mächtigkeit auf bis zu ca. 10 m unterhalb der Böschungsoberkante eingeschränkt. Die Löffelkapazität und die erreichbare Wassertiefe sind abhängig von der Hebekraft des Baggers und der installierten Stielkonfiguration, d.h. bei einer großen Tiefe können lediglich kleine Lösegefäße verwendet werden.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Tiefenlöffelbaggers sind in Tabelle 5-27 und Tabelle 5-28 wiedergegeben.

Tabelle 5-27 Einsatzkriterien des Tieflöffelbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ A
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt (Hochschnitt)
Zielgröße	Löffelinhalt V_N [m ³]
Min-max. Kapazität Löffel	2 m ³ - 20 m ³
Gerätespezifischer Drehfaktor	80 %

Tabelle 5-28 Drehfaktorkorrekturwerte des Tieflöffelbaggers

Ungeübtes Personal	0,80
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,90
Widrige klimatische Bedingungen	0,95\$
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.7 Landgestützter Eimerkettenbagger

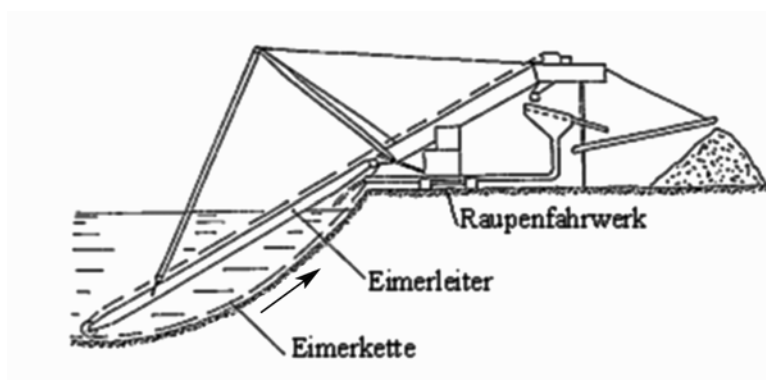


Abb. 5-54 Aufbau eines landgestützten Eimerkettenbaggers

Die landgestützten Eimerkettenbagger gehören zu den ältesten Gewinnungsgeräten für Lockergestein. Das Arbeitsprinzip ähnelt dem eines Becherwerks. Die Eimer sind an einer endlosen Eimerkette angehängt, deren Stütz- und Führungskonstruktion (der Eimerleiter) auf einem Raupenfahrwerk ruht. Die Baggerung des Materials erfolgt über eine Kreislaufführung der Eimer auf der Eimerleiter. Der obere Wendepunkt der Eimer wird als Oberturas und der untere Wendepunkt als Unterturas bezeichnet. Der landgestützte Eimerkettenbagger kann auch verfestigte Lockergesteine gewinnen. Die Stützkonstruktion beschränkt die maximale Gewinnungstiefe bei der terrestrischen Nassgewinnung auf < 15 m.

Der landgestützte Eimerkettenbagger arbeitet vom Ufer her und kann einmal abgegrabene Flächen im Zuge einer Restgewinnung nicht mehr erreichen. Dessen Einsatz erfordert deshalb eine weit vorausschauende Abbauplanung und Abbauführung. Selektive Gewinnung unterschiedlicher Bodenqualitäten ist nicht möglich. Bei Vorkommen von Blöcken entstehen hohe Gewinnungsverluste, da die Leiter nur oberhalb der Blocklage abgraben kann. Ein Becherwerk gräbt die Böschung von unten nach oben laufend mit den Eimern des Untertrums der Kette ab. Das Fördergut wird über ein Vor- und Entwässerungssieb über eine Rutsche i.d.R. auf ein Transportband aufgegeben, das entsprechend Abbaufortschritt regelmäßig gerückt werden muss. Am häufigsten ist der landgestützte Eimerkettenbagger in geringer mächtigen Lagerstätten z.B. an der Donau im Raum Günzburg anzutreffen. Die Leistung reicht für die Versorgung von Kieswerken mit einer Produktion von 400.000 bis 500.000 t/a. Der erreichbare Ausbeutegrad ist erfahrungsgemäß gut. Die gewinn- und nutzbaren Restvorräte betragen $< 1,5$ t/m². Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des landgestützten Eimerkettenbaggers sind in den folgenden beiden Tabellen angegeben.

Tabelle 5-29 Einsatzkriterien des Eimerkettenbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ A
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	Eimerinhalt V_E [dm ³]
min-max. Kapazität Eimer	0,05 m ³ - 0,500 m ³
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-30 Drehfaktorkorrekturwerte des Eimerkettenbaggers

Ungeübtes Personal	0,80
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,95
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,80

5.3.4.8 Schrapper

Man unterscheidet:

- Auslegerschrapper sowie
- Gelenkrollenschrapper (mit an Land verankerter Umlenkrolle oder bei großen Seen auch deren schwimmender Verankerung).

Bei Einsatz eines Schrappers wird i.d.R. ein rechteckiges Gefäß von bis zu ca. 15 m³ Inhalt über den Grund gezogen (Abb. 5-55). Der abgegrabene und geförderte Boden wird über eine Austragsrinne auf ein Transportband gegeben. Kleinschrapper mit < 2 m³ Gefäßinhalt werden auch zum Löschen von Laderaumbaggern benutzt (Abb. 5-74).

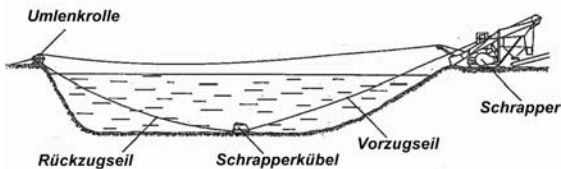


Abb. 5-55 Aufbau eines Gelenkrollen-Schrapper ¹⁸²

Der Einsatz des Schrappers ist in Abhängigkeit von der Biegelinie der Seilführung auf gering mächtige Lagerstätten beschränkt. Die durch das Zugseil eingebrachten Kräfte bedingen die Grabkraft. Diese ist abhängig von:

- Nutzlast,
- Eigengewicht des Schrappgefäßes,
- Reibungsbeiwert der Schrappbahn,
- Neigungswinkel der Schrappbahn,
- sonstigen Widerständen.

Im Zuge des Schrappens entsteht auf der Eingriffsseite des Schrappgefäßes eine steile Böschung, auf der Austragsseite infolge des Schleppphanes eine vergleichsweise flache Böschung. Nach mehreren Schrappzügen muss die Anlage seitwärts verrückt werden. Bei diesem Gewinnungsverfahren entstehen wegen der flach geneigten Schleppböschung sowie der verbleibenden Rippen zwischen den Schleppbahnen hohe Gewinnungsverluste. Diese werden weiter erhöht, wenn nicht in sehr kleinen Abständen gerückt wird. Kleine Abstände gehen jedoch zu Lasten des Füllungsgrades und damit der Produktion. Die Gewinnungsverluste können verringert werden, indem rechtwinkelig zur vorausgegangenen Aufstellung im Zuge einer Restgewinnung gebaggert wird. Dies geht jedoch ebenfalls stark zu Lasten der erreichbaren Förderleistung.

Die maximale Auslage ist von den Belastungsgrenzen der mechanischen Bauteile und Seile abhängig und gegenüber dem Auslegerschrapper, dem sog. Wurfkübelbagger, erheblich größer. Je nach Auslage ist der Schrapperkübel in der Lage, bis zu 25 m tief zu baggern. Der Schrapper kann locker gelagertes Material und, je nach Größe des Schrappergefäßes, auch Steine und Blöcke gewinnen.

Je nach Baggergut werden unterschiedliche Formen des Schrappergefäßes eingesetzt. Neben Dachform, Halbmondform, Polygonform oder Schaufelform wird das Schrappergefäß am häufigsten als Vollkasten ausgeführt. Je nach abzugrabendem Material kann der Füllungsgrad durch den Anstellwinkel der Schneide beeinflusst werden. Dieser beträgt zwischen 22° und 60°, im Normalfall bei locker gelagerten Sedimenten ca. 30°^{183, 184}.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Schrappers sind in Tabelle 5-31 und Tabelle 5-32 aufgezeigt.

Tabelle 5-31 Einsatzkriterien des Schrappers

Horizontaler Verhieb	Typ C
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt (Tiefschnitt)
Zielgröße	V _K [m³]
min-max. Kapazität Kübel	1 m³ - 8 m³
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-32 Drehfaktorkorrekturwerte des Schrappers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,90

5.3.4.9 Schleppschaufelbagger

Ähnlich wie beim Auslegerschrapper wird bei Einsatz eines Schleppschaufelbaggers ein Gefäß mit einer Größe bis zu 10 m³ über einen Ausleger ausgeworfen und über den abzugrabenden Grund geschleppt. Schleppschaufelbagger können als Landgerät vom Ufer aus (Abb. 5-56) arbeiten oder auch auf einem Ponton schwimmend eingesetzt werden.

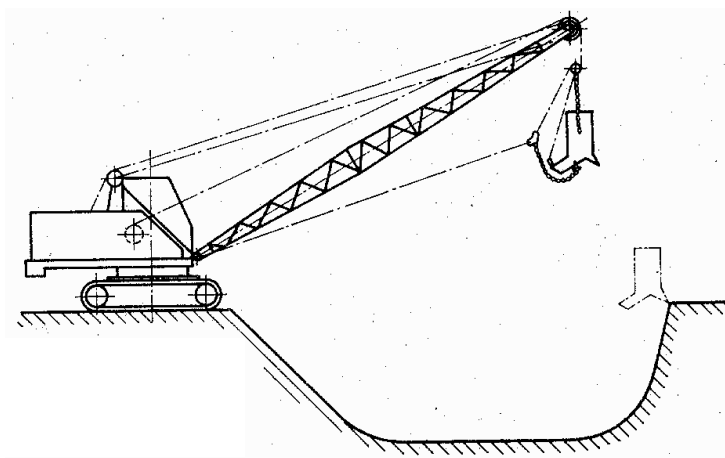


Abb. 5-56 Schleppschaufelbagger

Je nach Auslage kann der Schleppschaufelbagger bis zu 100 m überbrücken. Die Schleppschaufel wird zunächst ausgelegt und mittels Seilwinden zum Gerät gezogen. Das dabei mitgeführte Lockergestein wird dann durch Kippen des Kübels über der Förderanlage abgegeben. Die Kübelkapazität ist abhängig von der Größe des Baggers und dessen Auslage. Bei einer weiten Auslage können nur kleinere Kübel verwendet werden. Der Schleppschaufelbagger ist in der Lage, lockeres Material zu gewinnen. Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Schleppschaufelbaggers sind in Tabelle 5-33 und Tabelle 5-34 angegeben.

Tabelle 5-33 Einsatzkriterien des Schleppschaufelbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ C
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt (Hochschnitt)
Zielgröße	$V_K [m^3]$
min-max. Kapazität Kübel	0,5 m ³ - 5,0 m ³
Gerätespezifischer Drehfaktor	80 %

Tabelle 5-34 Drehfaktorkorrekturwerte des Schleppschaufelbaggers

Ungeübtes Personal	0,95
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,95

5.3.4.10 Stelzenpontonbagger

Der Stelzenpontonbagger (Backhoe Dredger, BD) entwickelte sich aus dem gängigen landgestützten Tieflöffel-Hydraulikbagger. Dessen Oberwagen ist beim Stelzenpontonbaggers auf einem in dem Ponton integrierten Drehkranz montiert (Abb. 5-57). Der schwimmfähige Ponton ist zudem mit Pfählen (spuds) versehen, die der Fixierung des Baggers in der Gewässersohle dienen.

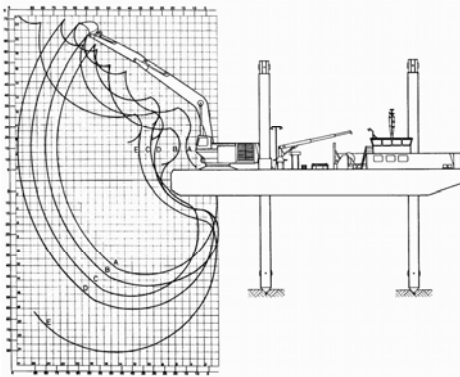


Abb. 5-57 Aufbau des Stelzenpontonbaggers mit Grabkurven ¹⁸⁵

Die Pfähle am Ponton sind erforderlich, um die Reaktionskräfte beim Baggern in den Grund abzuleiten und um den Ponton auf Baggerposition zu halten. Die Leistungsfähigkeit des Baggers wird über sein Löffelvolumen angegeben. Dieses beträgt derzeit zwischen 1 m³ und ca. 20 m³, abhängig von der Größe des Oberwagens, der Baggertiefe und der Bodenart. Die erforderlichen Reißkräfte und Löffelvolumen nehmen mit zunehmender Tiefe und Bodenfestigkeit ab. Die derzeit erreichbaren Baggertiefen liegen im Bereich von 4 m bis 24 m. Aus der folgenden Tabelle sind die Kenndaten des Stelzenpontonbaggers, Typ Aquadigger, in Abhängigkeit von der Reichtiefe erkennbar.

Tabelle 5-35 Kenndaten von Stelzenpontonbaggern

	Mono- block- einrich- tung	Stiel- länge	Löffelin- halt bei Auslade- beschrän- kung	Reich- tiefe	Reißkraft	Losbrech- kraft
	(m)	(m)	(m³)	(m)	(Mp)	(Mp)
A	12	7	11,5	13	55	59
B	12	9	9	15	48	50
C	16	7	6,5	16	55	59
D	16	9	6,5	18	48	50
E	20	12	2,5	24	32,5	33

Das Lösen des Bodens erfolgt mechanisch, die Führung des Lösewerkzeugs ist zwangsgeführt. Der Verhieb des Baggers in der Horizontalen erfolgt in sichelförmiger Arbeitsweise um den Haltepfahl, in der Vertikalen als Tiefschnitt.

Gewöhnlich belädt der Stelzenpontonbagger Schuten, die längsseits festmachen.

Der Einsatz von Stelzenpontonbaggern zeichnet sich aus durch:

- die Fähigkeit, eine Vielzahl von Böden zu baggern, inklusive großer Steine und Blöcke sowie schwieriger zu baggernder Materialien, wie feste Tone und leichter Fels bis etwa 10 MPa Druckfestigkeit,
- die Möglichkeit, auf beengtem Raum zu arbeiten,
- genaue Lage- und Tiefenbestimmung,
- das Fehlen von Ankern und Tauen,
- geringe Verdünnung des Baggergutes mit Wasser und somit hohe Landefaktoren in der Schute,
- ausgereifte Bagbertechnik aufgrund jahrzehntelanger Erfahrungen mit landgestützten Geräten.

Als Nachteile des Stelzenpontonbaggers sind zu nennen:

- vergleichsweise geringe Produktion,
- geringe Abgrabungstiefe von < 20m,
- Abhängigkeit von Schutenregime,
- unvollständiges und langsames Entleeren des Löffels bei bindigen Böden,
- hohe Investitionssumme.

Der Hauptnachteil des Stelzenpontonbaggers ist die im Vergleich zu anderen mechanischen Geräten oftmals geringere Produktion. Dieser Nachteil wiegt jedoch weniger für schwierig zu baggernde Bodenarten wie Ton, Mergel oder leichten Fels. Mit den heutzutage gebräuchlichen größeren

Löffeln mit $> 10 \text{ m}^3$ Inhalt können mit anderen Baggertypen vergleichbare Leistungen von 200–300 m^3/h erzielt werden.

Um den Ponton an seiner Arbeitsstelle mit eigener Kraft zu verfahren, zieht oder stößt sich der Hydraulikbagger mit seinem Ausleger in die gewünschte Richtung. Größere Bagger sind mit Schreitpfahl ausgerüstet.

Zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit eines Hydraulikbaggers dienen:

- Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Ausladung,
- Grabtiefe, Reichweite, Ausschütthöhe,
- Reißkraft, Losbrechkraft,
- Löffelvolumen,
- Dauer eines repräsentativen Arbeitsspiels.

Besonders wichtig ist die Angabe von Grabkräften, die gemäß DIN 24086 als Reiß- und Losbrechkraften für Tieflöffelbagger definiert werden. Die Reißkraft wird vom Stielzylinder hervorgerufen.

Ihr Nennwert ist erreicht, wenn der Stielzylinder ein maximales Moment um den Stieldrehpunkt bewirkt und sich die Arbeitsausrüstung, in diesem Fall der Löffel, dabei in einer üblichen Stellung befindet. Im Gegensatz dazu wird die Losbrechkraft am Baggerlöffel durch den Löffelzylinder erzeugt. Der Nennwert wird vom maximalen Moment um den Löffeldrehpunkt vom Löffelzylinder bestimmt.

Die Arbeitsbewegung in der vertikalen Maschinenebene wird von drei Schubschwingen (Ausleger, Stiel, Werkzeug) bestimmt, so dass als äußere Werkzeugbahnkurve (Grabkurve) für jede einzelne Schubschwinge ein Kreisbogen und bei Bewegungsüberlagerung eine Zyklode entsteht (Abb. 5-57). Unter Einbeziehung der Oberwagendrehbewegung ergibt sich daraus der Arbeitsraum. Mit der Tieflöffelausrüstung wird vorzugsweise unterhalb der Standebene des Baggers gegraben. Zum Lösen und Aufnehmen des Materials wird der Tieflöffel auf den Bagger vorzugsweise zubewegt²⁴.

Der Arbeitszyklus wird hauptsächlich durch die Baggertiefe und den zu baggernden Boden beeinflusst. Die Bodenart bestimmt maßgeblich den für die Produktion bedeutenden Löffelfüllungsgrad.

Bei der Dimensionierung der Antriebsleistung des Tieflöffels wird zwischen der erforderlichen Reißkraft und dem Leistungsbedarf des Lösewerkzeugantriebes unterschieden. Die Reißkraft dient als Auslegungssparameter für das hydraulisch betriebene Lösewerkzeug. Beide Kenngrößen sind direkt von der spezifischen Schneidkraft abhängig.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Stelzenpontonbaggers sind in Tabelle 5-36 und Tabelle 5-37 zusammengestellt.

Tabelle 5-36 Einsatzkriterien des Stelzenpontonbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ B
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	$V_L [m^3]$
min-max. Kapazität Löffel	1 m ³ - 25 m ³
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-37 Drehfaktorkorrekturwerte des Stelzenpontonbaggers

Ungeübtes Personal	0,70
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,95

5.3.4.11 Schwimmender Eimerkettenbagger

Bei diesem Gerätetyp (Abb. 5-58) wird ebenfalls ein Becherwerk betrieben, das aber im Vergleich zum landgestützten Eimerkettenbagger umgekehrt läuft und den zu gewinnenden Boden vor der Ortsbrust schwimmend abräbt. I.d.R. arbeitet das Gerät an der Böschungsunterkante unter Wasser und provoziert so bei locker gelagertem Kiessand ein Nachrutschen der darüberliegenden Schichten.

Abbauplanerisch erreicht man im Vergleich zum landgestützten Eimerkettenbagger mit Einsatz eines schwimmenden Eimerkettenbaggers (bucket ladder dredger, BL) einen höheren Freiheitsgrad.

Die Eimerkette besteht in der Nassbaggerei aus einer Anzahl von ca. 30-80 Eimern mit Eimerinhalten von 300 l bis 1.500 l, die durch über Rollen laufende Kettenglieder, sog. Schaken, verbunden sind. Die Kette läuft über den sog. Oberturas, eine ploygonale i.d.R. fünfeckige Antriebswelle zur Übertragung der mittels Riemen übertragenen Antriebsleistung. Unten wird die Kette durch den sog. Unterturas, ebenfalls eine polygonale jedoch i.d.R. sechseckige Welle, beim Baggern geführt.

Die in der Nassbaggerei eingesetzten Eimerkettenbagger haben eine i.d.R. weit geschakte Kette. Bei weit geschakten Ketten befindet sich jeweils zwischen zwei Eimerschaken eine Zwischenschake.

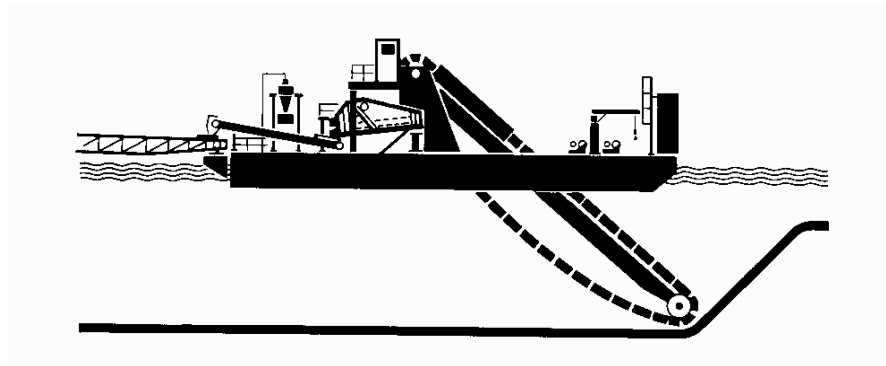


Abb. 5-58 Aufbau des schwimmenden Eimerkettenbaggers

In der Nassgewinnung sind die Eimer, dessen Inhalt 50 l bis 300 l beträgt, i.d.R. dicht geschakt. Diese Bagger erreichen Tiefen von 40 m und sind insbesondere bei der Gewinnung von Schwermineralien wie Zinn oder Gold Bestandteil einer integrierten Aufbereitungsanlage zur Herstellung von Vorkonzentrat.

Die Kette bei zur Kiesgewinnung eingesetzten Eimerkettenbaggern besteht zudem oftmals aus einer beidseitig angeordneten Traktorkette, die über Zahnturasräder läuft, womit sich vergleichsweise hohe Kettengeschwindigkeiten von bis zu 50 Eimern/min erreichen lassen.



Abb. 5-59 Traktorkette mit Eimern für Nassgewinnung

Die Antriebsmaschine der Eimerkette hat im Wesentlichen drei verschiedene Widerstände zu überwinden:

- Grabwiderstand,
- Hubwiderstand,
- Bewegungswiderstände.

Zu beachten ist, dass die Grabkraft nicht nur durch den Kettenzug sondern teilweise auch durch den Seilzug der Seitenwinden eingetragen wird.

Wesentlich bei der Bestimmung der Grabkraft¹⁸⁶ ist der Durchhang der Eimerkette. Verursacht wird der Kettendurchhang durch das Eigengewicht der Kettenbauteile. Dieses Eigengewicht führt zu einer Belastung in Längsrichtung der Kette, dem so genannten Stützzug. Je kleiner der Durchhang ist, umso größer ist dieser Stützzug. Bei gestreckter Lage des Leertrums wäre er unendlich groß. Die Stützzüge an den beiden Turassen des Leertrums entsprechen den Stützzügen des Lasttrums: sie heben sich daher auf und beeinflussen nicht die Leistung der Antriebsmaschine. Trotzdem stellt der Stützzug eine unerwünschte Blindleistung dar. Er erhöht die Flächenpressung in den Kettengelenken und den Turaslagern und damit den Kraftanteil zum Überwinden der Bewegungswiderstände.

Durch einen großen Kettendurchhang wird daher versucht, einen weiteren Nachteil, den Verschleiß in den Kettengelenken und Turaslagern, möglichst klein zu halten. Ein großer Kettendurchhang führt jedoch zu einem Schleifen der Eimer auf der Gewässersohle, sowie zu gleichzeitigem Eingriff mehrerer Eimer im Anschnitt. Außerdem besteht die Gefahr des Abspringens der Kette vom Unterturas. Bei zu großem Kettendurchhang vor dem Bodeneingriff auf der Gewässersohle schürfende Baggereimer können nach Brößkamp⁷⁷ die Antriebskraft der Eimerkette nahezu nutzlos aufzehren.

Neben dem Kettendurchhang beeinflussen auch die Eimerform, die Form der Reißzähne, wenn vorhanden, und die Abmessungen des Spans den Schneidwiderstand und damit die erforderliche Grabkraft.

Mit Eimerkettenbaggern lassen sich in der Nassbaggerei Leistungen je nach Größe der Eimer und den Baustellengegebenheiten von bis zu 100.000 m³/Woche erreichen, ausgehend von einer Arbeitszeit von 7 d/W á 24 h/d.

Die Schüttungszahl als maßgebliche Kenngröße für die Leistungsbeurteilung variiert bei Geräten für die Nassbaggerei zwischen 5 und 30 Eimer/min, bei Eimerkettenbaggern für die Nassgewinnung zwischen 10 und 50 Eimer/min.

Heutigentags wird der Eimerkettenbagger insbesondere zu Spezialaufgaben eingesetzt, z.B. für das Baggern

- in kohesivem Material, z.B. dem sog. Lauenburger Ton,
- in kontaminiertem Baugrund,
- in stark inhomogenem Baugrund mit vielen Steinen und Findlingen.



Abb. 5-60 Eimerkettenbagger mit Kiesaufbereitung ¹⁸⁷

Der Eimerkettenbagger kann entweder allein als Gewinnungsgerät arbeiten, wobei der abgegrabene Boden über Bänder oder Schuten zur Aufbereitung transportiert wird, oder er kann auch Bestandteil einer schwimmenden Aufbereitung sein (Abb. 5-60).

Bei der Nassgewinnung von Sand und Kies werden Eimerkettenbagger eingesetzt, die in Anpassung an die zu erbringenden kleinen Jahresleistungen kleinere Eimergrößen von $< 200 \text{ l}$ erfordern. Dadurch lassen sich erreichen:

- geringeres Gewicht,
- größere Schüttungszahl,
- geringere installierte Leistung sowie
- geringere Lärmentwicklung.

Der schwimmende Eimerkettenbagger ist über 6 Winden festgelegt (Abb. 5-61):

- 1 Vortauwinde,
- 1 Achterwinde,
- 4 Seitenwinden.

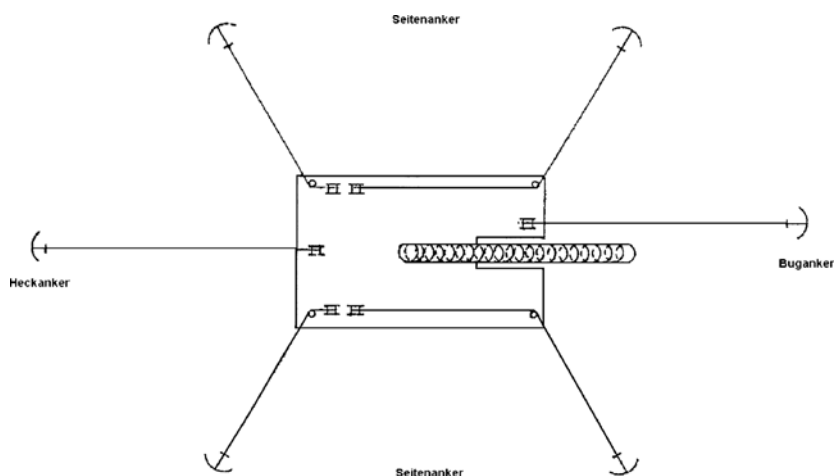


Abb. 5-61 Verankerung Eimerkettenbagger

Der Bagger schwingt beim Graben um das Vortau, das Achterschiff wird nachgeführt, so dass die Bahn einer liegenden 8 verfolgt wird. Das gegrabene Material wird in den Eimern zum Oberturas gefördert und dort entleert. Der Austrag erfolgt über den Schüttrumpf und die Austragsschurre in die seitlich liegende Schute oder über ein unter dem Schüttrumpf montiertes Förderband.

Die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des schwimmenden Eimerkettenbaggers sind in Tabelle 5-38 und Tabelle 5-39 zusammengestellt.

Tabelle 5-38 Einsatzkriterien des schwimmenden Eimerkettenbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ B
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	V_E [dm ³]
min-max. Kapazität Eimer	0,05 m ³ - 0,5 m ³
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-39 Drehfaktorkorrekturwerte des schwimmenden Eimerkettenbaggers

Ungeübtes Personal	0,80
Unterbrochene Verladung	0,90
Schwieriges Terrain	0,95
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,85

Ein besonderer Nachteil des schwimmenden Eimerkettenbaggers ist der erhebliche Lärmpegel, der sehr ungleichförmig anfällt. Der Schallleistungspegel eines Eimerkettenbaggers erreicht Werte von $> 125 \text{ dB(A)}$, der des Grundsaugbaggers dagegen nur bis zu 110 dB(A) . In enger besiedelten Industrie- und Wohngebieten ist der Einsatz des Eimerkettenbaggers deshalb oftmals auf wenige Stunden pro Tag beschränkt.

Neben der Lärmentwicklung ist die vergleichsweise große Entwicklung von Trübungswolken nachteilig.

Bei Baggerung bindiger Böden mit zu hoher Kettengeschwindigkeit besteht darüber hinaus die Gefahr, dass die Eimer nicht in den Schüttrumpf entleeren sondern erst beim Wiedereintauchen ins Wasser.

5.3.4.12 Schwimmgreiferbagger

Der Schwimmgreiferbagger (grab dredger, GD) ist neben dem Grundsaugbagger beim Abbau von Kies und Sand am Häufigsten im Einsatz. Seine Beliebtheit resultiert aus dem vergleichsweise zum hydraulischen Verfahren geringen Verschleiß bei Kiessandförderung. Weiter sind mit einem Schwimmgreifer große Tiefen erreichbar, die bei der hydraulischen Gewinnung erheblichen Geräteaufwand bedeuten würden. Erst seit der Jahrtausendwende werden für die Kies- und Sandgewinnung Grundsaugbagger entwickelt, die Abgrabungen bis ca. 100 m Wassertiefe erlauben.

Der Schwimmgreifer wird für Abgrabungen im terrestrischen Bereich je nach Verwendungszweck und Anforderung des Förderbetriebes gebaut als:

- Auslegergreifer mit Gewinnung vor Kopf, angewandt bei Abgrabung flacherer Lagerstätten (Abb. 5-63),
- Portalgreifer bei Abtransport des Fördergutes mittels Schuten (Abb. 5-62).

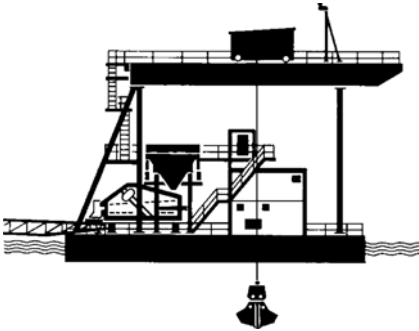


Abb. 5-62 Aufbau des Greiferbaggeres mit Katzanlage und Voraufbereitung

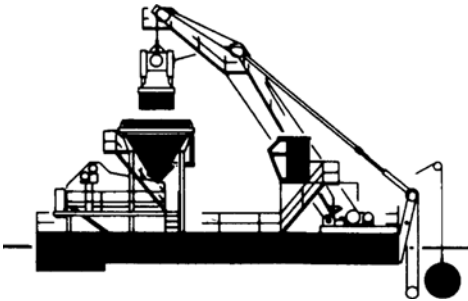


Abb. 5-63 Aufbau des Auslegergreiferbaggeres

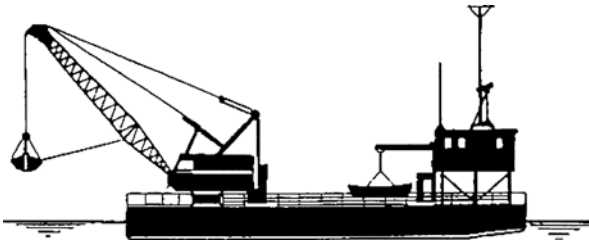


Abb. 5-64 Aufbau eines Drehgreiferbaggeres

Der Greiferbagger eignet sich insbesondere bei Abbautiefen größer 20 m und bei ungleichförmigem Boden mit Steinen. Je nach Lastfall und Abbautiefe kann der Bagger u.U. bis zu 2 Jahre und mehr auf quasi einer Position verharren. Bei geringerer Baggertiefe nehmen die unvermeidbaren Gewinnungsverluste überproportional zu.

Wie bei allen Geräten mit nicht zwangsgeführtem Lösewerkzeug gräbt der Schwimmgreifer Trichter, die in Abhängigkeit von der Größe des Grei-

fers eine Mindesthöhe benötigen, um einen guten Füllungsgrad zu erreichen. Wird dieser schlechter, wird der Bagger mindestens um die halbe Trichterbreite verholt. Dadurch entstehen hohe Gewinnungsverluste von erfahrungsgemäß mehr als $6,5 \text{ t/m}^2$.

Auch bei mächtigen Lagerstätten sollte ein Scheibenabbau vorgesehen werden. Die Gewinnung von einer Lokation bis in volle Tiefe hat zwar den Vorteil geringer Ausfallzeiten infolge Verlegens des Gerätes. Dieser Vorteil wird jedoch durch Inkaufnahme erheblicher Gewinnungsverluste im Sohl- und Böschungsbereich erreicht, die bei sinnvoll dimensioniertem Scheibenabbau minimierbar wären. Die Gewinnungsverluste in mächtigen Lagerstätten $> 30 \text{ m}$ können deshalb bis auf 20 t/m^2 ansteigen.

Je nach Lagerstätte sind Voraufbereitungsgeräte, wie Grobroste, Brecher oder Vorsiebe an Bord im Einsatz.

Bei allen Varianten verläuft die Baggerung nach dem gleichen Prinzip. Im ersten Arbeitsschritt wird der Greifer mittels Greiferseil auf der Greiferspule herabgelassen, dann wird per Seilzug, Hydraulik- oder Elektromotor der Schließmechanismus aktiviert, das erfasste Material umschlossen und im dritten Arbeitsschritt nach oben transportiert. Das gebaggerte Material wird üblicherweise nach Voraufbereitung auf Schwimmbändern oder mittels Schuten abtransportiert.

Bei Baggern in dicht gelagerten Sanden, Ton oder verfestigten Kiesen fällt die erzielbare Förderleistung deutlich ab, da einerseits das Graben wesentlich länger dauert als beim Abbau von frei fließendem Kiessand und andererseits der Füllungsgrad des Greifers wesentlich geringer ist.

In Tabelle 5-40 und Tabelle 5-41 sind die Einsatzkriterien und die Drehfaktorkorrekturwerte des Greiferbaggers aufgeführt.

Tabelle 5-40 Einsatzkriterien des Greiferbaggers

Horizontaler Verhieb	Typ A, B
Vertikale Schnittebene	Tiefschnitt
Zielgröße	$V_G [\text{m}^3]$
min-max. Kapazität Greifer	$1 \text{ m}^3 - 20 \text{ m}^3$
Gerätespezifischer Drehfaktor	90 %

Tabelle 5-41 Drehfaktorkorrekturwerte des Greiferbaggers

Ungeübtes Personal	0,90
Unterbrochene Verladung	0,85
Schwieriges Terrain	0,90
Widrige klimatische Bedingungen	0,90
Geringe Lagerstättenmächtigkeit	0,80

5.3.4.13 Leistungsberechnungen ausgewählter Nassbagger

Ein wichtiger Auslegungsparameter von Nassbaggergeräten ist die Förderleistung. Im Zuge der Abbauplanung ist entweder die Förderleistung des Baggergerätes zu errechnen, um z.B. die nachfolgende Aufbereitungsanlage zu definieren oder es ist anhand der Markteinschätzung und der sich daraus ergebenden Planleistung des Tagebaus der Bagger auszulegen.

Bei der Förderleistung wird zwischen theoretischer Leistung Q_{th} und effektiver Leistung Q_{eff} unterschieden.

Die theoretische Leistung Q_{th} entspricht der Förderleistung, welche von einem bestimmten Gerät unter den Bedingungen des Einsatzortes maximal erbracht werden könnte. Die theoretische Förderleistung wird z.B. bei der Bestimmung der erforderlichen Anzahl von Schuten herangezogen. Bei Ansatz der effektiven Leistung würde Schutenmangel entstehen und die Förderleistung geringer ausfallen als technisch möglich.

Q_{th} berücksichtigt alle produktionstechnischen und lagerstättenspezifischen Einflußfaktoren wie Füllungsgrad f_F , Schüttzahl n_S bzw. Grundspielzeit t_G oder Neigungsfaktor f_N . Sie wird ermittelt unter Berücksichtigung aller bekannten leistungserhöhenden und -mindernden Einflüsse nach Grundgleichung.

$$Q_{th} = V_N f_F f_A n_S \quad (5-20)$$

Die effektive Förderleistung Q_{eff} entspricht der dauerhaft erzielbaren Durchschnittsleistung und dient damit auch als Leistungsansatz für die Kalkulation. Sie wird ermittelt unter Berücksichtigung des Drehfaktors DF_{ges} , wodurch die unproduktiven Betriebszeiten des Gerätes berücksichtigt werden.

Die Förderleistung Q_{eff} ergibt sich damit aus der folgenden Formel:

$$Q_{eff} = Q_{th} D_{F,ges} \quad (5-21)$$

Grundsaugbagger

Die nachstehenden Berechnungsgleichungen für die Dimensionierung des Grundsaugbaggers sind auf die anderen hydraulischen Nassbaggerverfahren übertragbar.

Als Zielgrößen sind der Rohrrinnendurchmesser D_R und die Pumpenleistung P_P zu bestimmen.

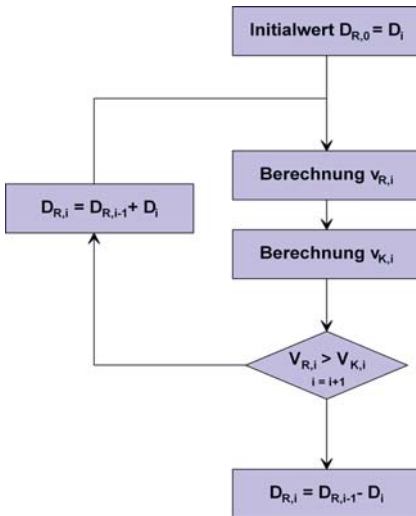


Abb. 5-65 Iteration zur Bestimmung des Rohrrinnendurchmessers (D_i : Durchmesserinkrement i.A. = 0,05m; v_R Strömungsgeschwindigkeit Gemisch; v_K kritische Strömungsgeschwindigkeit)

Rohrrinnendurchmesser D_R

Bei der Berechnung wird zunächst die kritische Strömungsgeschwindigkeit der Suspension in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung ermittelt, um dann mittels Iteration den notwendigen Rohrrinnendurchmesser zu bestimmen (Abb. 5-65).

Rohrströmungsgeschwindigkeit v_R

Die Rohrströmungsgeschwindigkeit v_R ist die mittlere Geschwindigkeit, mit der sich der Suspensionsstrom Q_{Sus} durch die Rohrleitung bewegt.

$$v_R = \frac{4Q_{\text{Sus}}}{\pi D_R^2} \quad (5-22)$$

$$Q_{\text{Sus}} = \frac{Q_{\text{eff}}}{c_V} \quad (5-23)$$

mit

c_V Volumenkonzentration.

Kritische Rohrströmungsgeschwindigkeit v_K

Die kritische Strömungsgeschwindigkeit für homogenes Material ergibt sich aus der nachfolgenden Gleichung.

$$v_K = Fr_{kr} \sqrt{2 g D_R \frac{\rho_K - \rho_W}{\rho_W}} \quad (5-24)$$

mit

Fr_{kr} Froudsche Zahl für kritische Strömungsgeschwindigkeit
 ρ_K Korndichte.

Die Froudsche Zahl für die kritische Strömungsgeschwindigkeit Fr_{kr} wurde von Durand und Condolios in Abhängigkeit der Feststoffkonzentration und vom mittleren Partikeldurchmesser des geförderten Feststoffs ermittelt⁷⁸.

Die kritische Strömungsgeschwindigkeit für heterogenes Material v_k nach Jufin und Lopatin⁷⁸ wurde für die hydraulische Förderung ungleichförmigen Bodens in horizontalen Rohrleitungen mit Feststoffkonzentrationen von 2 bis 15 Vol.-%, mittlerem Korndurchmesser von $0 < d_{50} < 63$ mm und Rohrrinnendurchmesser von $0,10 \text{ m} < D_R < 0,90 \text{ m}$ untersucht. Sie ergibt sich gemäß nachfolgender Gleichung:

$$v_K = 3,25 \sqrt[3]{\frac{\rho_K - \rho_W}{\rho_W}} g D_R \sqrt[6]{c_V \sqrt[4]{Fr_{xJ}}} \quad (5-25)$$

mit

Fr_{xJ} Strömungsbeiwert.

Der mittlere Strömungsbeiwert Fr_{xJ} ist eine dimensionslose Kenngröße und kennzeichnet den Transportwiderstand in Abhängigkeit der Korngröße des zu fördernden Feststoffes. In Tabelle 5-42 sind die Strömungsbeiwerte für verschiedene Korngrößen ausgewiesen.

Tabelle 5-42 Strömungsbeiwert Fr_{xJ} in Abhängigkeit der Korngröße d

d [mm]	Fr_{xJ} [-]
$0,06 < d < 0,1$	0,020
$0,1 < d < 0,25$	0,098
$0,25 < d < 0,5$	0,404
$0,5 < d < 1$	0,755
$1 < d < 2$	1,155
$2 < d < 3$	1,500
$3 < d < 5$	1,770
$5 < d < 10$	1,940
$d > 10$	2,000

Bei der hydraulischen Förderung von Mehrkornsanden, dem Regelfall bei der hydraulischen Gewinnung, wird die Mittelung der Strömungsbeiwerte empfohlen.

$$\overline{Fr_{xj}^{1,5}} = \frac{\sum Fr_{xj}^{1,5} x_i}{100} \quad (5-26)$$

mit

x_i Massenanteile je Fraktion.

Leistung der Baggerpumpe

Zur Dimensionierung der Pumpe wird die erforderliche Pumpenleistung P_p in Abhängigkeit von der Fördermenge Q_{sus} , den zu überwindenden Druckverlusten Δp_{ges} und dem Pumpenwirkungsgrad η_p beschrieben:

$$P_p = \frac{Q_{sus} \Delta p_{ges}}{\eta_p} \quad (5-27)$$

Das Ergebnis dieser Berechnung kann u.a. auch zur konstruktiven Dimensionierung der Baggerpumpe (Schaufelzahl, -dicke, -radius) verwendet werden.

Manometrische Förderhöhe Δp_{Ges}

Die manometrische Förderhöhe ergibt sich aus der Summe der saug- und druckseitigen Förderhöhen Δp_s und Δp_D

$$\Delta p_{Ges} = \Delta p_s + \Delta p_D \quad (5-28)$$

mit

Δp_D Druckseitige Förderhöhe.

Die druckseitige Förderhöhe ergibt sich aus der geodätischen Förderhöhe $\Delta p_{G,D}$ sowie den Druckverlusten durch Rohrreibung $\Delta p_{R,D}$ und Formwiderständen $\Delta p_{E,D}$ (Einbauten)

$$\Delta p_D = \Delta p_{G,D} + \Delta p_{R,D} + \Delta p_{E,D} \quad (5-29)$$

Die geodätische Förderhöhe $\Delta p_{G,D}$ ergibt sich durch den von der Suspension zu überwindenden Höhenunterschied. Bei Pumpen, deren druckseitiger Ausgang unter dem Wasserspiegel liegt, setzt sich die geodätische Förderhöhe infolge des Auftriebs aus der Förderhöhe unter und der über dem Wasser zusammen (Abb. 5-66):

$$\Delta p_{G,D} = (h_{\text{gesamt}} - h_S - h_A) g \rho_{\text{Sus}} + h_A g (\rho_{\text{Sus}} - \rho_W) \quad (5-30)$$

$$\rho_{\text{Sus}} = \rho_W + c_v (\rho_K - \rho_W) \quad (5-31)$$

mit

ρ_{Sus} Dichte Suspension
 h_A Höhe Pumpe bis Wasserspiegel
 h_S saugseitige Höhe
 h_{gesamt} Gesamthöhe.

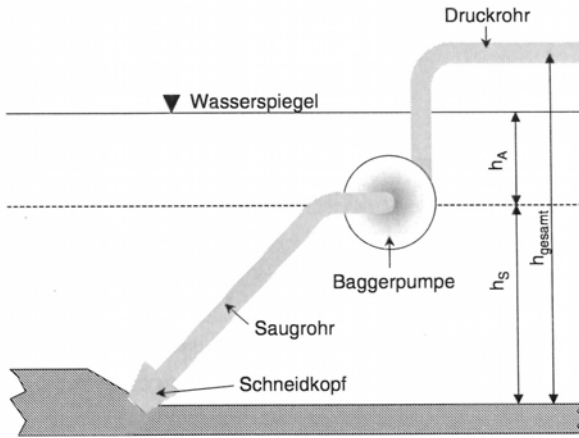


Abb. 5-66 Höhen Baggerpumpenanlage

Der Druckverlust der Rohrreibung $\Delta p_{R,D}$ ergibt sich zu:

$$\Delta p_{R,D} = \lambda \frac{v_R^2}{2D_R} l_D \rho_{\text{Sus}} \quad (5-32)$$

mit

l_D Länge Druckrohrleitung.

Ansätze zur Bestimmung des Rohrreibungsbeiwertes λ für Rohre mit glatten (nach Nikuradse) oder rauen (nach Karman-Nikuradse) Innenflächen sind:

$$\lambda_{\text{glatt}} = 0,0032 + 0,211 \text{Re}^{-0,237} \quad (5-33)$$

$$\lambda_{\text{rauh}} = \frac{1}{\left(2 \log_{10} \left(\frac{D_R}{0,2} \right) + 1,114 \right)^2} \quad (5-34)$$

Die Reynoldszahl Re ist eine dimensionslose Kennzahl, die eine Aussage über die Art der Rohrströmung zulässt. Die Reynoldszahl ist abhängig vom Rohrrinnendurchmesser D_R , der mittleren Rohrströmungsgeschwindigkeit v_R und der Viskosität ν des Strömungsmediums.

$$Re = \frac{v_R D_R}{\nu} \quad (5-35)$$

Der Druckverlust durch Einbauten wie Krümmer, Schieber oder Gelenke $\Delta p_{E,D}$ wird wie folgt berechnet:

$$\Delta p_{E,D} = \sum \zeta \frac{v_R^2}{2} \rho_{\text{Sus}} \quad (5-36)$$

Die anzusetzenden Formwiderstände ζ ermitteln sich aus Tabelle 5-43.

Tabelle 5-43 Formwiderstandsbeiwerte von Einbauten ζ

Einbauten	ζ
Saugwiderstand	2,50
Saugmund	0,50
freier Austritt	0,20
Krümmung 90°	0,14
Krümmung 45°	0,07
Kugelgelenk	0,12
Schlauchgelenk	0,03
Schieber	0,15

- Saugseitige Förderhöhe Δp_S

Die saugseitige Förderhöhe setzt sich aus der geodätischen Förderhöhe des Feststoffes in der Suspension $\Delta p_{G,S}$, dem Druckverlust durch Rohrreibung $\Delta p_{R,S}$ und Einbauten $\Delta p_{E,S}$, sowie der Geschwindigkeitshöhe Δp_v zusammen.

$$\Delta p_S = \Delta p_{G,S} + \Delta p_{R,S} + \Delta p_{E,S} + \Delta p_v \quad (5-37)$$

Die geodätische Förderhöhe $\Delta p_{G,S}$ ergibt sich durch den vom Feststoff zu überwindenden Höhenunterschied. Bei Pumpen, deren druckseitiger Ausgang unter dem Wasserspiegel liegt, ergibt sich die geodätische Förderhöhe wie folgt:

$$\Delta p_{G,S} = h_s g (\rho_{\text{Sus}} - \rho_w) \quad (5-38)$$

Der Druckverlust durch Rohrreibung $\Delta p_{R,S}$ ergibt sich entsprechend Gleichung 5-36, wenn l_D durch l_S ersetzt wird. Der Druckverlust durch Einbauten $\Delta p_{E,S}$ ergibt sich gemäß Gleichung 5-36.

Der Druckverlust infolge Beschleunigung des Suspensionsstromes Δp_v errechnet sich durch

$$\Delta p_v = \frac{v_R^2}{2} (c_v (\rho_K - \rho_w) + (1 - c_v) \rho_w) \quad (5-39)$$

- Pumpenwirkungsgrad η_p

Der Pumpenwirkungsgrad ist abhängig von der Geometrie der Pumpe, vom Suspensionsvolumenstrom und von der Drehzahl der Schaufelräder der Kreiselpumpe. I.d.R. wird zur Abschätzung der Gesamtwirkungsgrad der Baggerpumpe mit $0,40 < \eta_p < 0,75$ angesetzt.

Im Falle der Abgrabung nicht frei zufließender Böden, bei denen die Saugkraft der Baggerpumpe nicht ausreicht, den Boden zu lösen und zur Baggerpumpe zu heben, müssen angetriebene Lösewerkzeuge genutzt werden. Die für das Lösewerkzeug zu installierende Antriebsleistung hängt von vielen Faktoren ab. Die exakte Berechnung ist kompliziert. Es besteht jedoch die Möglichkeit, bei gegebenem Grabwiderstand die für eine bestimmte Förderleistung nötige Antriebsleistung rechnerisch abzuschätzen, oder bei Kenntnis der Antriebsleistung den maximal erreichbaren Grabwiderstand des Bodens zu errechnen.

Schneidkopfsaugbagger

Ausgehend von der Berechnung der erforderlichen Schneidkopfleistung ermittelt sich die mit dem Schneidkopf aufnehmbare Bodenmenge Q_{eff} mittels Ansatz der Spanquerschnittsfläche A_{sp} , der Schwenkgeschwindigkeit v_s , dem Gütegrad der Bodenaufnahme η_g sowie dem Drehfaktor $D_{F,\text{ges}}$ wie folgt:

$$Q_{\text{eff}} = A_{\text{sp}} v_s \eta_g D_{F,\text{ges}} \quad (5-40)$$

Die Spanquerschnittsfläche A_{sp} berechnet sich angenähert nach der Mantelfläche eines Kegels nach der Beziehung,

$$A_{Sp} = \frac{d_{ka}}{2} \pi \sqrt{\left(\frac{d_{ka}^2}{4} + \frac{l_k^2}{4}\right)} e \quad (5-41)$$

Der Gütegrad der Bodenaufnahme η_g liegt beim Schneidkopfsaugbagger zwischen 0,6 und 0,7. Dies entspricht Schnittverlusten von 0,4 bis 0,3. Bindige Böden haben geringere Schnittverluste als locker gelagerte rollige Böden.

Schneidradsaugbagger

Das Schneidrad erzeugt einen Spanquerschnitt, der einem ringförmigen Viertelkreis ähnelt (Abb. 5-67).

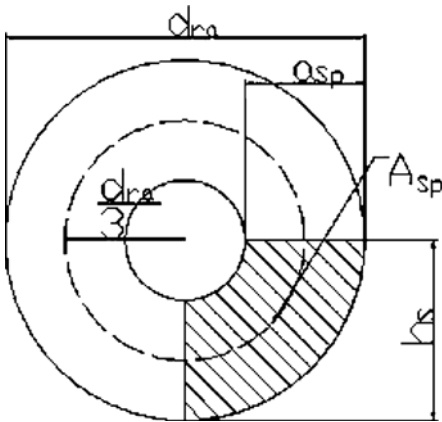


Abb. 5-67 Schnittverhältnisse am Schneidrad

Ausgehend von der Berechnung der erforderlichen Schneidkopfleistung ermittelt sich die mit dem Schneidrad aufnehmbare Förderleistung gemäß

$$Q_{eff} = 0,9 A_{Sp} v_s \eta_g D_{F,ges} \quad (5-42)$$

Die Spanquerschnittsfläche A_{Sp} berechnet sich wie folgt: Dem Viertel der Kreisfläche mit dem Durchmesser d_{ra} wird ein Viertel der Kreisfläche mit dem Durchmesser $d_{ra}/3$ abgezogen (Abb. 5-22):

$$A_{Sp} = \frac{1}{4} \left(\frac{d_{ra}^2}{4} \pi - \frac{d_{ra}^2}{36} \pi \right) \quad (5-43)$$

vereinfacht:

$$A_{\text{Sp}} = \frac{d_{\text{ra}}^2 \cdot \pi}{18} \quad (5-44)$$

Die Spandicke a_{Sp} entspricht der im Eingriffe befindlichen Schneidbügellänge und beträgt in mitteldicht gelagerten Böden erfahrungsgemäß ca. einem Drittel des Schneidraddurchmessers d_{ra}

$$a_{\text{Sp}} = \frac{d_{\text{ra}}}{3} \quad (5-45)$$

Die geschnittene Scheibenhöhe h_{S} ist dann etwa gleich der Hälfte des Schneidraddurchmessers d_{rs}

$$h_{\text{S}} = \frac{d_{\text{rs}}}{2} \quad (5-46)$$

Die Schwenkgeschwindigkeit v_{S} kann sich je nach Lage des Ankerpunktes für die Seitentaue mit zunehmendem Schwenkwinkel verändern, sofern kein geeigneter Steuerungsmechanismus zur Konstanthaltung der Schwenkgeschwindigkeit vorgesehen ist. Diese Zusammenhänge sind von Bedeutung für die Bestimmung der effektiven Leistungsfähigkeit des Schneidradbagger. Im Allgemeinen betragen die Schwenkwinkel gegenüber der Längsachse des Baggers maximal $\pm 45^\circ$.

Der Gütegrad der Bodenaufnahme η_{g} liegt beim Einsatz eines Schneidrades zwischen 0,8 und 0,9. Dies entspricht Schnittverlusten von 0,2 bis 0,1. Durch wiederholtes Baggern im gleichen Schnitt, dem sog. Sauberkeitsschnitt insbesondere beim Abgraben der letzten Scheibe, werden diese Verluste weiter reduziert.

Tieflöffel- bzw. Stelzenpontonbagger

Zielgröße bei der Leistungsberechnung des Stelzenpontonbaggers ist der Löffelinhalt V_{G} .

Je nach Bodenkonsistenz und Feuchtigkeitsgehalt variiert aufgrund des sich ändernden inneren Reibungswinkels und/oder der Kohäsion der Neigungswinkel der ggf. über die Löffeloberkante hinausgehenden Aufhäufung, d.h. der Inhalt des Grabgefäßes, und damit die Leistung. Da der Löffelinhalt i.d.R. von den Normfüllungen gemäß SAE oder DIN abweicht, muss bei der Leistungsberechnung der Füllungsgrad f_{F} als Korrekturbeiwert berücksichtigt werden.

Der Füllungsgrad f_{F} ist definiert als Quotient aus dem effektiven Inhalt V und dem Nenninhalt V_{N} des Grabgefäßes gemäß Norm (Tabelle 5-9):

$$f_F = \frac{V}{V_N} \quad (5-47)$$

V_N ist der Nenninhalt des Grabgefäßes nach SAE, CECE, oder DIN. Unterschiedliche Häufungen sind in Abb. 5-68 skizziert.

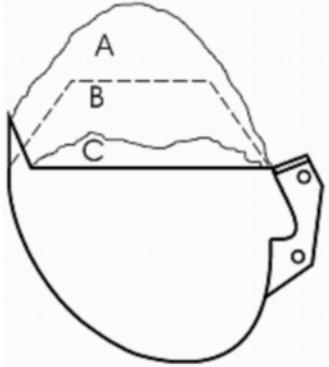


Abb. 5-68 Füllfaktor für Tieflöffel¹⁴² (A: Füllfaktor = 1,2, effektiver Inhalt z.B. bei feuchtem Ton; B Füllfaktor = 1,0, Grabgefäß gefüllt nach SAE-Norm; C Füllfaktor = 0,75, effektiver Inhalt z.B. bei gesprengtem Fels)

Neben der Bodencharakteristik beeinflussen auch die Eigenschaften des Grabgeräts und des Grabgefäßes den Füllungsgrad. Ein hohes Eindringvermögen, eine hohe wirksame Ausbrechkraft sowie neue Grabzähne und Löffelschneiden führen zu einer besseren effektiven Füllung und damit zu einem höheren Füllungsgrad. Bei neuen und daher längeren Zähnen liegt das effektive Fassungsvermögen des Grabgefäßes am stärksten über dessen normierten Fassungsvermögen. Mit zunehmendem Zahn- und Schneidenverschleiß vermindert sich das effektive Fassungsvermögen. Diese technischen Einflussfaktoren werden gesondert berücksichtigt.

Messungen an Schaufelradbaggern während Tonbaggerungen zeigten, dass für diese Einsätze glatte Schneiden einen Vorteil gegenüber zahnbesetzten Schneidkanten aufweisen. Der bindige Boden setzt sich in die Zwischenräume der Zähne und verdickt so künstlich die Schneide, was zu höheren Eindringwiderständen führen kann.

Die Zähne an Löffeln größerer Hydraulikbagger haben ein beachtliches Gewicht, z.B. ca. 1.000 kg bei einem Tieflöffelbagger, Fabr. Liebherr, Typ 995. Die Nutzlast der Löffel vergrößert sich bei Löffeln ohne Zähne um das entsprechende Gewicht der Zähne.

Der angenommene Füllungsgrad wird nur erreicht, wenn das Grabgefäß vor der Füllung leer gewesen ist. Deshalb ist besonders darauf zu achten, dass sich das Grabgefäß bei jedem Förderspiel auch vollständig entleert. In

bindigen Böden ist die vollständige Entleerung nicht immer gewährleistet, da Bodenreste an den Grabgefäßwänden haften bleiben und so das Normvolumen ständig verringern. Gegebenenfalls sind neben regelmäßiger Reinigung Löcher in die Gefäßwandung einzubrennen, Wulste auf der Innenwand anzuschweißen oder Ketten im Gefäß anzubringen, um Anbackungen zu vermeiden bzw. zu entfernen.

Die sich im Eingriff befindlichen Messerlänge zur Berechnung der erforderlichen Schneidkraft entspricht beim Stelzenpontonbagger der gesamten Schneidkante des Löffels.

Die effektive Förderleistung errechnet sich zu:

$$Q_{\text{eff}} = Q_{\text{th}} D_{\text{F,ges}} = V_N \frac{t_G}{f_T} f_A f_F D_{\text{Fges}} \quad (5-48)$$

mit

V_N	Nenninhalt Löffel
t_G	Grundspielzeit
f_T	Spielzeitfaktor
f_A	Auflockerungsfaktor
f_F	Füllungsgrad.

Grundspielzeit t_G

Die Grundspielzeit t_G entspricht der Zeit, die der Bagger für einen vollen Arbeitszyklus (lösen t_L , heben t_H , schwenken t_S , entleeren t_E , zurück-schwenken t_S , senken t_H) benötigt. In Abhängigkeit von der Arbeitstiefe, der installierten Leistung und der Größe des Lösegefäßes beträgt die Grundspielzeit von Stelzenpontonbaggern i.d.R. 1-2 min.

$$t_G = (t_L + 2 t_H + 2 t_S + t_E) \quad (5-49)$$

Spielzeitfaktor f_T

Der Spielzeitfaktor f_T errechnet sich zu:

$$f_T = 1 + \frac{p_S + p_A + p_E}{100} \quad (5-50)$$

mit

p_S	Schwenkwinkелеinfluss
p_A	Einfluss ungünstiger Grabtiefen, Abgrabungshöhe und Ausle- gerlänge
p_E	Einfluss des Entleerens.

Bei Besetzung des Gewinnungsgerätes mit nur 1 Person sind persönlich bedingte Ausfallzeiten des Geräteführers zu berücksichtigen.

- Schwenkwinkeleinfluss p_S

Er beschreibt die Veränderung der Spielzeit infolge unterschiedlicher Schwenkwinkel des Oberwagens zwischen dem Füll- und Entleerungsvorgang (Tabelle 5-44).

Beim Beladen der Schute beträgt der Schwenkwinkel ca. 90° (Grundschwenkwinkel), so dass dieser Einfluss nicht berücksichtigt werden muss, und $p_S = 0\%$ angesetzt werden kann.

Tabelle 5-44 Schwenkwinkeleinfluss auf Spielzeit

Schwenkwinkel ($^\circ$)	30	45	60	75	90	105	120	150	180
Zuschlag p_S (%)	-11	-7	-5	-2	0	2	4	8	12

- Abgrabungshöhe h_{opt} und Auslegerlänge p_A

Wenn die tatsächliche Grabtiefe oder -höhe nicht der optimalen entspricht, muss dies förderspielzeiterhöhend berücksichtigt werden.

Die günstigste Grabtiefe z_{opt} bzw. Abgrabungshöhe h_{opt} ist etwa

$$z_{opt} \text{ bzw. } h_{opt} = 1,5V_N \quad (5-51)$$

Weicht die reale Grabtiefe z oder Abgrabungshöhe h von der optimalen Tiefe/ Höhe ab, gilt Tabelle 5-45.

Tabelle 5-45 Einfluss ungünstiger Grabtiefen

$(z, h) - 1,5 \cdot V$	-1 m	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m
p_A [%]	-3	0	3	6	9	12

Die maximale Grabtiefe ist die Tiefe, die nur in einem einzigen Punkt an der Zahnspitze erreicht wird. Die praktische Grabtiefe, bei der man mit horizontaler Schneide einen Hub von üblicherweise 6 bis 8 m machen kann, liegt laut mündlicher Mitteilung der Firma Liebherr etwa 2 m darüber.

- Einfluss des Entleerens p_E

Wenn der Boden nicht auf Halde entleert wird oder in angemessen große Schuten, wirkt sich dies spielzeiterhöhend aus (Tabelle 5-46).

Tabelle 5-46 Einfluss des Entleerens auf Spielzeit

Vorgang	Entleeren auf Halde, Schute	Entleeren auf SKW	Entleeren auf LKW, etc.
p_E [%]	0	4	8

Auflockerungsfaktor f_A

Der Auflockerungsfaktor eines bestimmten Bodens stellt keine konstante Größe dar, sondern verändert sich je nach Feuchtigkeitsgehalt, Ausgangsverdichtung und Bedienungsqualität des Baggerfahrers, welche großen Einfluss auf die Intensität der Gefügestörung beim Bodenabtrag besitzt. Der Einsatz großer Grabgefäße und ein zügiges, gleichmäßiges Abtragen führen zu einer niedrigeren Auflockerung als bei Verwendung kleinerer Grabgefäße.

$$f_A = \frac{\rho_s}{\rho_{\text{fest}}} = \frac{V_{\text{fest}}}{V_{\text{lose}}} \quad (5-52)$$

mit

V_{fest} Festvolumen
 V_{lose} loses Volumen.

Schwimmender Eimerkettenbagger

Die notwendige Leistung des Motors für den Kettenantrieb setzt sich aus drei Teilen zusammen:

- Schneidleistung für das Lösen des Bodens,
- Hubleistung für Heben des Baggergutes über Wasser,
- Reibleistung für das Überwinden der auf die Eimerkette einwirkenden Reibungswiderstände.

Die gesamte benötigte Antriebsleistung ergibt sich zu:

$$P = \frac{P_S + P_H + P_R}{\eta} \quad (5-53)$$

mit

P_S Grableistung
 P_H Hubleistung
 P_R Reibleistung
 η Motorwirkungsgrad.

Schneidleistung

Das Spanvolumen ergibt sich aus dem Produkt der Spanbreite b_{Sp} , Spanhöhe h_{Sp} und Spandicke a_{Sp} (Abb. 5-69).

$$V_{Sp} = a_{Sp} h_{Sp} b_{Sp} \quad (5-54)$$

Der sichelförmige Querschnitt wird hierbei einem Rechteckquerschnitt angenähert.

Im Allgemeinen sind bei weitgeschakten Ketten, wie in der Nassbaggerrei eingesetzt, nur wenige, oftmals nur ein Eimer im Eingriff. Bei in der Nassgewinnung eingesetzten dicht geschakten Ketten können auch mehr Eimer im Eingriff sein.

Bei Flachbaggerungen und dadurch gegebener ungünstiger Leiter- und Eimerstellung oder großem Kettendurchhang haben erheblich mehr Eimer Kontakt mit der Gewässersohle. Die aufzubringende Grabkraft wird dadurch tw. erheblich reduziert (Abb. 5-69).

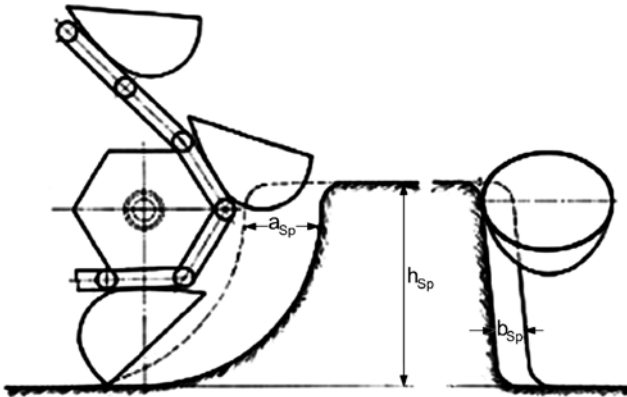


Abb. 5-69 Spangeometrie bei Eimerkettenbaggerung

Die für die erforderliche Grabkraft entscheidende Schneidkantenlänge des Eimers hängt von der Spandicke a_{sp} (Schnittvorschub) und der Spanbreite b_{sp} ab. Die Spanbreite wiederum wird durch die seitliche Schwenkgeschwindigkeit v_s bestimmt. Die Spandicke a_{sp} schwankt in folgenden Grenzen:

$$a_{sp} = (0,5 \dots 0,7) d_E \quad (5-55)$$

mit

d_E waagrechter Durchmesser des Eimers an seiner Öffnung.

Bei schwer lösbaren Bodenarten wird die Spandicke vermindert, beispielsweise bei Lauenburger Ton um 50 % mit $a_{sp} = 0,5 d_E$.

In Abb. 5-70 ist die erhöhte, orangefarbene Schneidkante (Verschleißschutz) eines für die Baggerung im Ton konzipierten Eimers gut zu erkennen. Die Schneidkante umfasst ca. die Hälfte des Außenrandes des Eimers, der einer kreisrunden Öffnung mit dem Durchmesser d_E angenähert angenommen werden kann. Damit ist auch die Spanbreite b_{sp} unter Berücksichtigung der Schwenkgeschwindigkeit bestimmbar entsprechend der Hälfte der in Längsrichtung geteilten Schneidkante

$$b_{Sp} = 0,5 d_E \quad (5-56)$$

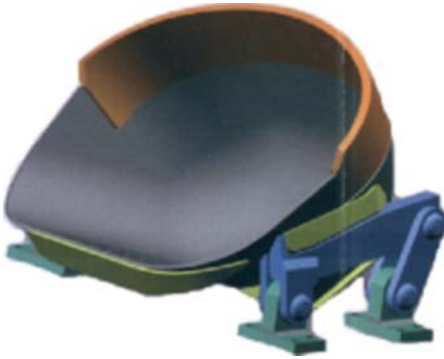


Abb. 5-70 Eimer für Baggerung im Ton

Die schneidende Messerlänge l_{Schn} eines Eimers ist dementsprechend angenähert dem Viertelkreis des Eimerumfanges mit dem Durchmesser d_E an seiner Öffnung:

$$l_{Schn} = \frac{d_E \pi}{4} \quad (5-57)$$

Die erforderliche Schneidleistung P_S wird mit der Formel berechnet

$$P_S = M \omega \quad (5-58)$$

mit

M erforderliches Drehmoment

ω Winkelgeschwindigkeit des Unterturas.

Das auf die Unterturasachse bezogene, erforderliche Drehmoment M ergibt sich zu

$$M = F_S r \quad (5-59)$$

mit

F_S Schneidkraft

r mittlerer Hebelarm der am grabenden Eimer angreifenden Schneidkraft F_S .

Die Winkelgeschwindigkeit ω des Unterturas errechnet sich aus der Schüttungszahl n_s zu

$$\omega = \frac{\pi 2 n_s}{30 \kappa_U} \quad (5-60)$$

mit

n_S Schüttungszahl (1/min)

κ_U Polygonzahl Turas.

Um einerseits einen möglichst ruhigen Lauf der Eimerkette über Ober- und Unterturas zu gewährleisten und damit die aus der zwangsläufig ungleichförmigen Kettenbewegung stammenden dynamischen Zusatz- und Stoßbelastungen in Grenzen zu halten, andererseits aber eine genügend sichere Mitnahme der Kette durch den Oberturas sicherzustellen, muss die Polygonzahl κ des Ober- und Unterturas festgelegt werden. Erfahrungsgemäß werden die in der Tabelle 5-47 angegebenen Werte gewählt.

Tabelle 5-47 Polygonzahl von Ober- und Unterturas eines Eimerkettenbaggers

	Polygonzahl Turas	
	κ_O	κ_U
Eimerinhalt	< 700 l	> 700 l
Oberturas	5	6
Unterturas	6	7

Reibleistung P_R

Der Roll- und Reibungswiderstand der aufsteigenden Eimerkette setzt sich aus dem Rollwiderstand der Eimerkette beim Überlaufen der Tragrollen in den Rolltraglagern zusammen. Die Reibung wird durch das Gewicht der Baggereimer und deren Füllung, der Schaken und der Kettenbolzen bestimmt. Durch den Auftrieb kommt auf die unter Wasser befindlichen Eimerkettentragsrollen ein kleineres Gewicht zur Wirkung als bei den über Wasser befindlichen.

Tabelle 5-48 Abschätzung der Reibleistung nach Welte¹⁵⁶

Eimerinhalt (l)	850	900
Baggertiefe (m)	20	30
Reibleistungsanteil Rollen (kW)	15,5	23,3
Reibleistungsanteil Turasse (kW)	12,5	12,5
Insgesamt Reibleistungsanteil (kW)	28,0	35,8

Die Werte der Tabelle 5-48 verdeutlichen den Einfluss der Baggertiefe auf den Reibleistungsanteil P_R . Für einen 900 l Eimerkettenbagger ist von einem Reibleistung von ca. 36 kW auszugehen.

Hubleistung P_H

Der erforderliche Kraftanteil für das Heben des Bodens in den gefüllten Eimern ist am größten bei maximaler Baggertiefe. Die Dichte des Baggergutes in den Eimern, die sich unter Wasser befinden, ist wegen des Auftriebs geringer anzusetzen als über Wasser.

Das Eigengewicht der Kette und der Eimer dagegen muss nicht berücksichtigt werden, da die benötigte potentielle Energie für die aufsteigenden Eimer der rückgewonnenen Energie der absinkenden Eimer entspricht.

Die Hubleistung P_H wird wie folgt ermittelt

$$P_H = g \left\{ V_N f_A f_F \frac{n}{60} (\rho - \rho_w) h_{uw} + \left[V_N f_A f_F \frac{n}{60} \rho + (V_N - V_N f_A f_F) \frac{n}{60} \rho_w \right] h_{ow} \right\} \quad (5-61)$$

Anzumerken ist, dass der Term $(V_N - V_N f_A f_F) \frac{n}{60} \rho_w$ nur gültig ist, falls $V_N f_A f_F < V_N$, d.h. die Eimerfüllung nicht größer als sein Nennvolumen ist und sich bei geringerer Füllung Wasser im nicht von Boden ausgefüllten Volumen des Eimers befindet. Andernfalls wird der Term gleich Null gesetzt. Vereinfacht ergibt sich

$$P_H = g V_N f_A f_F \frac{n}{60} \left\{ (\rho - \rho_w) h_{uw} + \left[\rho + \left(\frac{1}{f_A f_F} - 1 \right) \rho_w \right] h_{ow} \right\} \quad (5-62)$$

mit

h_{uw} vertikale Förderhöhe unter Wasser

h_{ow} vertikale Förderhöhe über Wasser

n_s Schüttungszahl [Eimer/min].

Förderleistung

Die Fördermenge Q_{eff} berechnet sich aus dem Produkt von Eimervolumen V_N , Eimerfüllungsgrad f_F , Eimerneigungsfaktor f_N , Auflockerungsfaktor f_A , Schüttungszahl n_s und Drehfaktor $D_{F\text{ges}}$.

Unter Berücksichtigung des Drehfaktors ergibt sich die effektive Fördermenge zu

$$Q_{\text{eff}} = V_N n_s f_A f_F f_N D_{F\text{ges}} \quad (5-63)$$

Beim Eimerkettenbagger ist die von der zu baggernden Bodenart abhängige Schüttungszahl n_s in Eimer/min für die Berechnung der Produktion ausschlaggebend.

Die Schüttungszahl n_s ergibt sich aus der Zeit, die ein Eimer für einen kompletten Umlauf auf der Eimerleiter benötigt. Es wird von nachstehenden Ansätzen ausgegangen:

$n_s = 3$ bis 12 für harte Böden und Fels,
 $n_s = 12$ bis 18 für bindige Böden,

$n_s = 18$ bis 28 für rollige Böden.

Der Füllungsgrad f_F wird abgesehen von der Bodenart noch durch die Neigung der Eimerleiter beeinflusst, insbesondere dann, wenn die Leiter wie in der Nassgewinnung üblich am Oberturas angelenkt ist. Der Neigungswinkel des Eimers hängt dann von der Baggertiefe ab. Der optimale Neigungswinkel der Eimerleiter beträgt ca. 45° . Bei Neigungswinkeln über oder unterhalb dieses Wertes liegt die Öffnungsebene der aufgehenden Eimer nicht mehr in der Waagerechten, so dass sich das Nennvolumen verringert.

In der Nassbaggerei kann deshalb die Leiter auf dem Leiterbock entsprechend der Baggertiefe verschoben werden, in der Nassgewinnung eingesetzte Geräte verfügen dagegen häufig über keine geteilte Leiter.

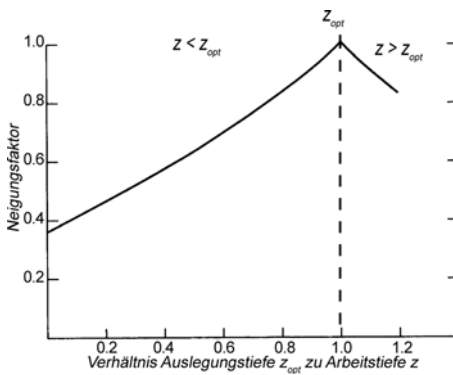


Abb. 5-71 Diagramm zur Bestimmung des Neigungsfaktors¹⁸⁸

Eine Baggerung oberhalb bzw. unterhalb der optimalen Baggertiefe z_{opt} verändert den Neigungsfaktor f_N der Eimer und damit den zu erreichenden Füllungsgrad (Abb. 5-71) zeigt den Verlauf des Neigungsfaktors als Verhältnis der durchschnittlichen Baggertiefe z und der optimalen Baggertiefe z_{opt} .

Die aus Abb. 5-71 näherungsweise ermittelte Funktion lautet:

$$f_N = 0,64 \frac{z_{opt}}{z} + 0,38 \quad \text{für} \quad \frac{z_{opt}}{z} > 1 \quad (5-64)$$

$$f_N = -\frac{z_{opt}}{z} + 2 \quad \text{für} \quad \frac{z_{opt}}{z} < 1 \quad (5-65)$$

$$f_N = 1 \quad \text{für} \quad \frac{z_{\text{opt}}}{z} = 1 \quad (5-66)$$

Schrapper

Die effektive Leistung eines Schrappers berechnet sich nach ¹⁸⁴

$$Q_{\text{eff}} = \frac{V_N f_N D_{F, \text{ges}}}{t_G} \quad (5-67)$$

mit

t_G Grundspielzeit.

Die Haspelzugkraft für den Vollzug P_{voll} berechnet sich nach der Gleichung

$$P_{\text{voll}} = (G \mu_1 + N \mu_2) \cos \alpha + (G + N) \sin \alpha + \Sigma W \quad (5-68)$$

mit

G Eigengewicht Schrappgefäß

N Nutzlast

α Neigung der Schrappbahn

μ_1 Reibungszahl des Gefäßes auf Schrappbahn

μ_2 Reibungszahl der Nutzlast auf Schrappbahn

ΣW Summe aller sonstigen Widerstände.

Greiferbagger

Die mögliche Grabkraft F_G hängt ab von der Größe des Greifers und wird bestimmt durch das Verhältnis:

$$F_G \sim W_S / W_G \quad (5-69)$$

mit

W_S Gewicht des Gefäßinhalts

W_G Gewicht des Greifers.

Entscheidend für die Produktionsberechnung ist die Dauer des Förderspiels, das sich wie folgt zusammensetzt:

- Senken Gefäß mit ca. 2,0 m/s,
- graben,
- heben mit ca. 1,5 m/s,
- entwässern,
- verfahren Greifer über Sieb/Schute,
- leeren,

- verfahren über Schacht.

Die Förderleistung Q_{eff} des Greifers berechnet sich analog Gl. 5-67.

Korrekturfaktor f_{FG}

Der Korrekturfaktor f_{FG} beschreibt die Abhängigkeit der Baggerleistung von der Greifergröße und der Bodenklasse (Tabelle 5-49)

Tabelle 5-49 Korrekturfaktor f_{FG}

Bodenklasse gem DIN 18196	$f_{\text{FG}} < 2 \text{ m}^3$ Greiferinhalt	$f_{\text{FG}} > 2 \text{ m}^3$ Greiferinhalt
A	0,75	0,80
F-K	0,70	0,75
B-E	0,50	0,60
L	0,35	0,45

Hub- und Senkgeschwindigkeit v_{H} bzw. v_{S}

Die Hubgeschwindigkeit v_{H} bzw. Senkgeschwindigkeit v_{S} des Greifers ist nahezu unabhängig von der gebaggerten Bodenart. Die Hubgeschwindigkeit v_{H} variiert je nach installierter Motorleistung und Windenanlage von 1,5 – 2,0 m/s, die Senkgeschwindigkeit v_{S} von 1,0 – 4,0 m/s.

Durchschnittliche Baggertiefe Z_{D}

$$Z_{\text{D}} = \frac{Z_{\text{GS}} + Z_{\text{LG}}}{2} \quad (5-70)$$

mit

Z_{GS} Tiefenmittelwert der Gewässersohle

Z_{LG} Tiefenmittelwert des Liegenden.

Eine Abschätzung des Greiferinhalts in Abhängigkeit von Soll-Förderleistung, Baggertiefe, Auflockerungsfaktor und Füllungsgrad zeigt Abb. 5-72.

Bei einer Abbautiefe von beispielsweise 40m beträgt der Greiferzyklus rd. 2 Minuten (20+20+30+10+10+10+10 = 100 s). Bei 500.000 t/a Soll-Produktion entsprechend rd. 250.000 m³/a ergibt sich die Greifergröße bei 3.520 Betriebsstunden/a, einem Füllungsfaktor von 0,7 und einem Drehfaktor $D_{\text{F, ges}}$ von 0,8 zu rd. 4 m³.

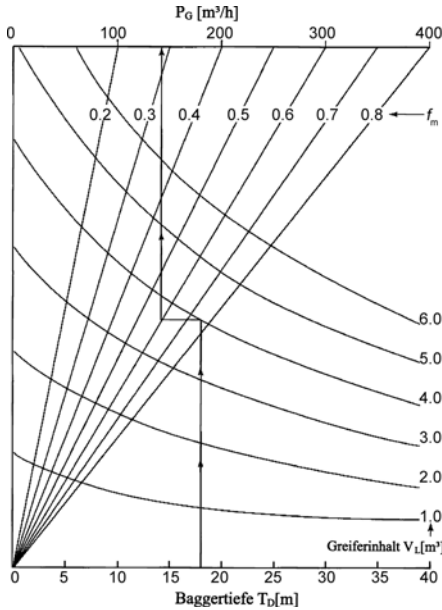


Abb. 5-72 Leistung eines marinen Greiferbaggers in Abhängigkeit des Auflockerungsfaktors, der Baggertiefe und des Füllungsgrades¹⁸⁸

Laderaumsaugbagger

Die Dimensionierung eines Laderaumsaugbaggers setzt sich aus drei unterschiedlichen Komponenten zusammen:

- Hydraulische Rohrleitungsberechnung,
- Berechnung der Zykluszeiten,
- Berechnung des im Laderaum verbleibenden Korndurchmessers.

Mit den Laderaumabmessungen (Breite und Länge) und dem Gemischdurchsatz wird zunächst der Hopperloadparameter v_O bestimmt, der die Vertikalgeschwindigkeit eines Partikels beschreibt. Der Hopperload-Parameter berechnet sich gem. Vlasblom¹⁸⁹ zu:

$$v_O = \frac{Q_{\text{Sus}}}{BL} \quad (5-71)$$

mit

Q_{Sus}	Gemischmenge
B	Breite des Laderaums
L	Länge des Laderaums.

Die Sinkgeschwindigkeit s_0 berechnet sich gem. Vlasblom bei laminaren Anströmungsbedingungen des Partikels d (Durchmesser kleiner 0,1 mm) zu:

$$s_0 = 424(\rho_K - \rho_w)d^2 \tag{5-72}$$

Prinzipiell gilt für alle verbleibenden Partikel:

$$s_0 \geq v_0 \tag{5-73}$$

Durch Iteration erhält man den kritischen Partikeldurchmesser d_{krit} .

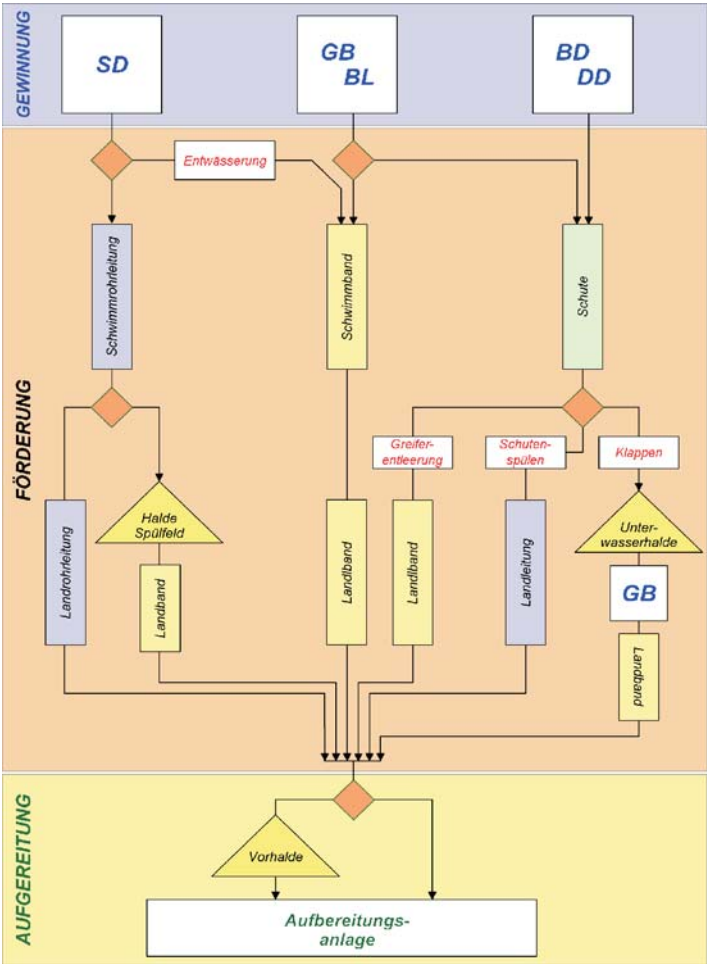


Abb. 5-73 Methoden für Förderung des Materials von Gewinnung zu Aufbereitung

5.4 Betriebsstelle Förderung

Nach der Art der Abförderung des gebaggerten Materials ist zu unterscheiden in kontinuierlichen sowie in diskontinuierlichen Förderbetrieb.

Zur kontinuierlichen Förderung von Gewinnung zu Aufbereitung werden Rohrleitungen und Förderbänder eingesetzt.

Diskontinuierlich erfolgt die Förderung bei Einsatz von Schuten und Laderaumsaugbaggern. In diesem Fall muss die kontinuierliche Versorgung der Aufbereitungsanlage mit Rohmaterial aus einer Vorhalde sichergestellt werden.

Aus diesen Fördermöglichkeiten ergeben sich eine Reihe von Kombinationsmöglichkeiten (Abb. 5-73).

5.4.1 Kontinuierliche Förderung

Beim kontinuierlichen Betrieb wird die Aufbereitungsanlage nach Lösen und Heben des Rohstoffs über die Wasserlinie ohne Unterbrechung bis zur Aufbereitungsanlage bzw. Vorhalde verbracht, u.zw. zum Beispiel bei

- hydraulischer Förderung durch:
 - direktes Verspülen in die Aufbereitung. Dieses Verfahren hat den Nachteil der Abhängigkeit von Gewinnung und Aufbereitung von einander, z.B. im Fall von Stillstand eines Betriebsteiles oder bei Mehrleistung z.B. des Gewinnungsbetriebes.
 - Verspülen auf ein Schöpfrad oder Entwässerungssieb zur Entwässerung mit anschließender Bandförderung auf die Vorhalde, sowie Weiterförderung zur Aufbereitungsanlage mittels Unterflurabzug der Vorhalde und Bandbeschickung der Anlage.
- mechanischer Förderung durch:
 - direkte Beschickung der Aufbereitungsanlage bzw. der Vorhalde mittels Bandförderung nach Entwässerung an Bord z.B. des Schwimmgreifers.

5.4.2 Diskontinuierliche Förderung

Bei diskontinuierlicher Förderung wird der Rohstoff im unterbrochenen Betrieb bis zur Aufbereitungsanlage verbracht. Nach Lösen und Heben des Rohstoffes über die Wasserlinie wird der Rohstoff zunächst in Transporteinheiten verladen und über größere Strecke an Land transportiert oder der

Rohstoff wird in Zwischendeponien an Land und/oder unter Wasser gelagert. z.B.

- bei hydraulischer Förderung:
 - in ein Spülfeld (z.B. Zweikammerspülfeld, bei dem die eine Kammer gespült, gleichzeitig die andere z.B. mittels Radlader geleert wird) oder
 - durch Verspülen aus dem Laderaum einer Schute oder eines Laderaumsaugbaggers, ansonsten wie zuvor erläutert, oder direkter Beschickung der Aufbereitungsanlage,
- bei mechanischer Förderung mittels Schuten nach Löschen der Ladung mittels:
 - Landbagger (Hydraulikbagger),
 - Schutenspüler und Rohrförderung auf Vorhalde bzw. direkt in die Aufbereitungsanlage,
 - Verklappen in eine Unterwasserdeponie und erneute Aufnahme mittels sog. Elevierbagger (z.B. Greifer, Grundsauer, Schrapper) und anschließender Bandförderung oder
 - Selbstlöscheinrichtung bei THSD (Abb. 5-74) durch Abgabe mittels an Bord installiertem Landband auf eine Deponie. Das Austragsband hat eine Ausladung von bis zu 60 m.
 - verfahrbarer Greifer (Ein- oder Zwei-Greiferanlage) mit einer Stundenleistung von bis zu 2.000 t/h,
 - verfahrbares Schaufelrad mit einer Stundenleistung von bis zu 3.000 t/h oder
 - Schrapper, eingesetzt i.d.R. nur bei kleineren Baggern mit einer Leistung von bis zu 500 t/h.



Abb. 5-74 Löscheinrichtungen im Laderaum ¹⁹⁰

Diskontinuierlicher Förderbetrieb kann die Herstellkosten erheblich beeinflussen, da im Vergleich zum kontinuierlichen Gewinnungs- und Förderbetrieb für das nochmalige Umschlagen des Rohstoffes Mehrkosten entstehen. Diese betragen ca. 0,40 bis 0,60 €/t.

Das Ergebnis eines Kostenvergleichs verschiedener Förderverfahren im Zuge des Abbaus von Sand ist in Abb. 5-75 dargestellt.⁴⁹

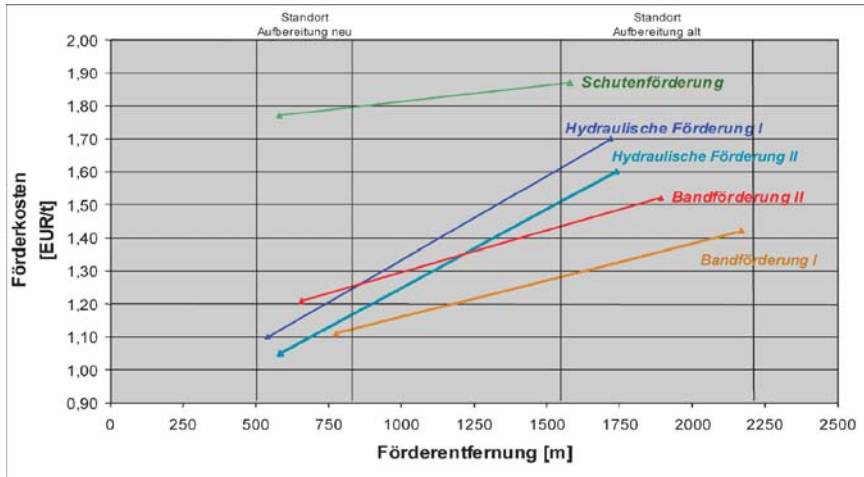


Abb. 5-75 Kostenvergleich verschiedener Förderverfahren bei Sandgewinnung

5.4.3 Fördervolumen und Fördermasse

In der wasserbaulichen Nassbaggerei ist die Förderleistung Q_{eff} i.d.R. die bestimmende Größe. Das gebaggerte Volumen, gemessen in m^3 , wird entweder

- im Abtrag, d.h. gebaggerter in situ Menge,
- im Auftrag, d.h. auf einer Fläche aufgetragenes Volumen oder
- im Laderaumaufmaß einer Schute oder eines Laderaumsaugbaggers

abgerechnet.

In der bergbaulichen Nassgewinnung wird i.d.R. die Förderleistung Q_{eff} in t der Leistungsbeschreibung zugrunde gelegt, die an die Aufbereitungsanlage bzw. den Lagerplatz gelangt. Die bestimmende Größe ist das Schüttgewicht des entwässerten Materials.

5.4.4 Fördermittel

Als Fördermittel von der Gewinnungsstelle zur Aufbereitungsanlage stehen folgende Einrichtungen zur Verfügung:

- Rohrleitung bei hydraulischer Gewinnung,
- Förderband bei mechanischer Gewinnung,
- Transportgefäße wie Schuten bei mechanischer oder hydraulischer Gewinnung,
- Laderaumsaug- oder Laderaumgreiferbagger bei offshore Gewinnung sowie
- Kombinationen aus hydraulischer und mechanischer Förderung.

5.4.4.1 Rohrleitung

Die Baggerpumpe fördert aufgrund des von ihr erzeugten Druckes das Boden-Wasser-Gemisch durch eine Rohrleitung über eine bestimmte vom verfügbaren Druck abhängige Entfernung. Es wird bei der Bemessung eine horizontale Rohrleitung angenommen, weil diese die größte Mindestgeschwindigkeit für absetzungsfreien Transport erfordert.

Die Leistungsberechnung der Baggerpumpe erfolgt analog zur Berechnung des hydraulischen Baggers.

In der Nassgewinnung werden bei hydraulischer Förderung fast ausschließlich Stahlrohre verwandt. Lediglich bei Gewinnung vorzugsweise einkörniger runder Sande werden auch Kunststoffrohre, z.B. aus HDPE, eingesetzt. Die Rohrleitung aus ST37 hat Wandstärken von 6 – 15 mm. Ausgekleidete oder Rohre aus gehärtetem Stahl werden bei Nassgewinnung von abrasivem Material, wie z.B. am Oberlauf der Elbe anstehend, eingesetzt.

Spülrohre werden längsnaht- oder spiralnahtgeschweißt und in Standardlängen von 6 oder 12 m hergestellt. In Feinsand rechnet man für Stahlrohre mit einem Verschleiß von 1 mm Wandstärke je 1,5 Mio. m³ und mehr. Im abrasiven Material der Elbe betrug die Standzeit eines gehärteten Rohres nur 60.000 m³. Die Lebensdauer einer Rohrleitung kann erheblich verlängert werden, wenn sie in regelmäßigen Abständen um 120° gedreht wird.

5.4.4.2 Förderband

Transportbänder werden insbesondere bei Greifergewinnung als Fördermittel häufig eingesetzt. Der Förderung mittels Transportband hat eine angemessene Entwässerung des Fördergutes vorauszugehen, insbesondere

dann, wenn Geländehöhen zu überwinden sind. Der Wassergehalt des Rohmaterials sollte kleiner 15-18 Ma.-% betragen.

Die Entwässerung erfolgt bei Gefäßbaggerung mittels Greifer, Schleppschaufel, Eimerkette oder Löffel

- während des Hebens des Gefäßes aus dem Wasser,
- an Bord des Schwimmbaggers mittels Entwässerungssieb,
- bei Einsatz eines Saugbaggers i.d.R. mittels Schöpfrad, das am Ende der Schwimmleitung auf einem Ponton schwimmend aufgebaut wird und das entwässerte Material an ein Schwimmband abgibt oder an Land im Bereich des Landübergangs der Rohrleitung installiert wird,
- im Spülfeld (Zweikammer-Spülfeld: 1. Kammer wird gespült und entwässert, 2. Kammer wird im Trockenbetrieb entleert).

Die Gurtbreite des Transportbandes ist so zu bemessen, dass auch inhomogenes Kiesmaterial mit Steinen gefördert werden kann. Die Gurtbreite beträgt in der Kiessandindustrie häufig zwischen 600 und 800 mm.

Die Förderleistung eines gemuldeten Transportbandes hängt ab von:

- Bandgeschwindigkeit,
- Bandbreite,
- Muldenwinkel (Abb. 5-76),
- Schüttwinkel,
- Gleichförmigkeit der Beschickung,
- Gerad- oder Schrägtransport,
- Beschaffenheit des Transportgutes.

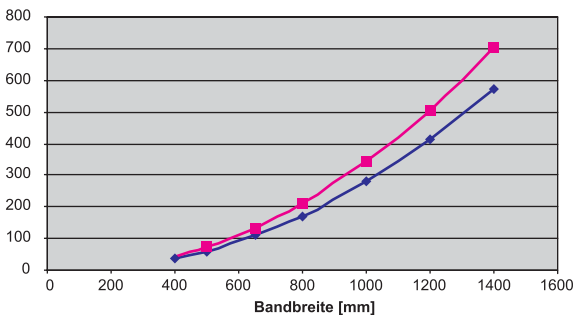


Abb. 5-76 Theoretischer Fördervolumenstrom eines gemuldeten Transportbandes in Abhängigkeit vom Muldenwinkel (Muldenwinkel 20° oder 30°, $v = 1\text{ m/s}$, Geradtransport)

Bei Schrägtransport ist eine Verminderung der Förderleistung in Abhängigkeit vom Förderwinkel anzusetzen. Der Minderungsfaktor c beträgt bei einem Steigwinkel $\leq 2^\circ$, $c = 1$, und bei einem Steigwinkel von 22° , $c = 0,76$.

Die Förderbandleistung ergibt sich nach der Beziehung

$$Q_{\text{eff}} = A_{\text{Band}} v c D_{\text{F,ges}} \quad (5-74)$$

mit

A_{Band} Querschnittsfläche Förderband
 v Bandgeschwindigkeit.

Ungleichförmigkeit der Beschickung und die Beschaffenheit des Fördergutes beeinflussen den Volumenstrom beim Förderbandtransport. Je nach Situation kann sich der theoretische Volumenstrom um bis zu 30 % verringern.

5.4.4.3 Schutentransport

In der Nassgewinnung können Schuten dann eingesetzt werden, wenn die Transportentfernung mehr als ca. 400 m beträgt und das Verspülen mittels Rohrleitung oder die Installation eines Transportbandes zu aufwendig wird. Insbesondere im Greiferbetrieb ist die Förderung mit Transportbändern oft sehr aufwändig, u.zw. immer dann, wenn keine Förderbandtrasse an Land verfügbar ist, und damit eine größere Transportentfernung mittels vergleichsweise sehr teuren Schwimmbändern zu überbrücken ist. Schuten werden gebaut als:

- Elevierschuten zur Entladung durch Greifer,
- Klappschuten (Spaltklappschute Abb. 5-77) oder als
- selbstlöschende Silo-Schuten (Abb. 5-77).

Elevierschuten haben keine Bodenöffnung. Sie werden mechanisch mittels Greifer oder hydraulisch mittels Schutenspüler entleert.

Klappschuten dagegen entleeren ihr Fördergut über Bodenöffnungen. Man unterscheidet:

- Klappschuten mit Bodenklappen,
- Klappschuten mit Bodentüren,
- Spaltklappschuten.

Selbstlöschende Schuten sind selbstfahrende oder geschleppte Pontons mit darauf aufgestellten Silos als Laderaum, die durch ein Abzugsband gelöscht werden können.

I.d.R. sind die Schuten selbstfahrend. In der Nassgewinnung von Kies und Sand werden Schuten mit Laderaumgrößen zwischen 50 m^3 und 300 m^3 eingesetzt. In der Nassbaggerei dagegen werden Schuten von 500 m^3 bis ca. 3.500 m^3 Laderauminhalt betrieben.



Abb. 5-77 Schuten in Kiessandgewinnung (l. Spalt-Klappschute, r. Siloschute mit Abzugsband)

Klappschuten verbringen das Baggergut von der Gewinnungsstelle zu einer Klappstelle, wo das verklappte Gut mittels sog. Eleviergreifer oder Grundsaugbagger wieder aufgenommen und zur Aufbereitungsanlage gefördert wird. An der Klappstelle ist mit Streuverlusten zu rechnen.

Größe und Anzahl der Schuten richten sich nach der Soll-Jahresproduktion des Gewinnungsgerätes. Sie sind bezüglich des Laderauminhaltes so auszulegen, dass das Gewinnungsgerät kontinuierlich arbeiten kann. Schutenmangel darf nicht entstehen, da dies die Produktion des Kieswerkes beeinflussen könnte.

Entscheidend für die Größe einer Schute ist die Umlaufzeit von/bis Bagger bei einer geforderten Soll-Produktion je Tag. Die Umlaufzeit hat folgende Zeiten zu berücksichtigen:

- Beladen der am Schwimmbagger angelegten Schute,
- Ablegen der gefüllten Schute vom Schwimmbagger,
- Fahren der beladenen Schute zum Löschplatz,
- Manövrieren am Löschplatz (Anlegen bei Greiferlöschung, Positionieren über Klappstelle),
- Löschen der Ladung,
- Ablegen von Löschplatz,
- Fahren zu Schwimmbagger,
- Anlegen an Schwimmbagger.

Die Bestimmung der erforderlichen Anzahl Schuten n_{Sch} ergibt sich unter Berücksichtigung von:

- Füllungsgrad f_F des Laderaumes mit dem Volumen V_{Sch} (ca. 90 %),
- Produktionsleistung Q_{eff} des Schwimmbaggers,
- Verfügbarkeitsfaktor η_{Sch} der Schuten (ca. 95 %) sowie der
- Umlaufzeit t_{Uml} einer Schute.

(5-75)

$$n_{\text{sch}} = Q_{\text{eff}} / V_{\text{Sch}} \cdot f_F \cdot \eta_{\text{Sch}} \cdot t_{\text{Uml}}$$

5.4.4.4 Transport mit Laderaumbagger

Laderaumsaug- oder Laderaumgreiferbagger sind Gewinnungs- und Fördergerät in einem. Die erforderliche Einsatzzeit des Schwimmbaggers richtet sich nach der jährlichen Produktion des Kieswerks oder dem Bedarf an Rohstoff je Kampagne. Denn häufig ist die Kapazität insbesondere des Laderaumsaugbaggers größer als die der abnehmenden Aufbereitungsanlage. Deren Kapazität muss sehr groß sein, wenn das gewonnene und bereits vorklassierte Baggergut kontinuierlich abgenommen werden soll. Andernfalls kommt es zu einem Betrieb in Kampagnen, der allerdings Verfügbarkeit über eine große Vorhalde voraussetzt.

Um die Gewinnung wirtschaftlich zu gestalten muss der Nassbagger wegen der Transportentfernung von vielleicht 50–150 m zwischen Gewinnungsort und Anlandungsplatz eine bestimmte Größenordnung haben. In der Kiesindustrie werden z. Zt. als größte Gewinnungsgeräte Laderaumsaugbagger mit bis zu 10.000 t Tragfähigkeit eingesetzt.

Die modernen Laderaumsaugbagger erreichen im beladenen Zustand eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 14 kn. Die Ladezeit beträgt wegen der gleichzeitig erfolgenden Klassierung > 8 h. Das Löschen des Rohstoffes erfolgt mechanisch mittels Schraper, Greifer oder Schaufelrad, seltener durch Klappen oder Verspülen. Die Löschleistung beträgt zwischen 1.000 und 3.000 t/h. Damit ergibt sich für eine Entfernung von beispielsweise 130 m zwischen Gewinnungsort und Löschplatz folgende Zeitabschätzung für einen Umlauf:

- | | |
|--------------------------|---------|
| • Laden | 10,0 h, |
| • Fahren zu Anlandeplatz | 9,5 h, |
| • Ausfall Tide, Anlegen | 1,5 h, |
| • Löschen | 10,0 h, |
| • Fahren Gewinnungsort | 9,5 h, |
| • Umlaufzeit | 40,5 h. |

Die Umlaufzeit der Beispielrechnung entspricht einer durchschnittlichen Leistung von $> 200 \text{ t/h}$. Diese entspricht der mittleren Fördermenge bei terrestrischer Gewinnung. Jedoch ist der Körnungsanteil des angelandeten Rohmaterials $> 2 \text{ mm}$ mehr als doppelt so hoch wie normalerweise bei terrestrischer Gewinnung.

5.5 Betriebsstelle Zwischenlagerung

Das gebaggerte Rohmaterial wird oftmals direkt in die Aufbereitungsanlage aufgegeben. Die direkte Beschickung der Aufbereitungsanlage führt unmittelbar zu einer Abhängigkeit der beiden Betriebsteile von einander. Im Falle des Stillstandes des einen, z.B. bei Maschinenbruch, steht zwangsweise auch der andere.

Daneben wird auch aus Gründen der Entwässerung des Rohmaterials oder dessen Vergleichmäßigung vor Beschickung der Aufbereitungsanlage eine Vorhalde als Zwischenlager des Baggergutes immer als vorteilhaft angesehen. Die Halde sollte mit einem Tunnelabzugsband ausgestattet sein, so dass die Aufbereitungsanlage kontinuierlich ohne Einsatz eines weiteren Trockenerdbaugerätes, z.B. eines Radladers, beschickt werden kann.

Bei hydraulischer Förderung von Sand, der nicht weiter aufbereitet werden muss, bietet sich die Anlage eines 2-Kammer-Spülfeldes an. Während die eine Kammer gespült wird, wird die andere mit Trockengerät entleert.

Jedes Zwischenlager ist angemessen zu entwässern. Die Halden bzw. das Spülfeld sind jeweils am Böschungsfuß im erforderlichen Umfang mit Entwässerungsgräben zu versehen.

5.6 Betriebsstelle Rekultivierung

5.6.1 Zielsetzung

Die Rekultivierung ergibt sich gemäß Genehmigungsplanung (Kapitel 2) und hat die Vorgaben des Planfeststellungsbeschlusses umzusetzen, im Wesentlichen:

- die Bepflanzung und Ausstattung mit sonstigen Anlagen gem. Landschaftspflegerischem Begleitplan sowie
- die Ausführung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen.

5.6.2 Umsetzung der Rekultivierung

In Abb. 5-78 ist beispielhaft der zugelassene Landschaftspflegerische Begleitplan für einen Kiessandabbau dargestellt. Die Rekultivierungsplanung sieht vor, das anfallende, nicht verwertbare Material zur Gestaltung einer geschwungenen Uferlinie mit breiten Flachwasserzonen und Auflandungen wieder in den See einzubringen. Der nährstoffreichere Oberboden wird hierzu nicht verwendet. Der See soll nach der Rekultivierung noch etwa 41,5 ha von ehemals 45 ha bei einer maximalen Tiefe von ca. 40 m aufweisen.

Übergeordnetes Ziel bei der Rekultivierung des entstehenden Baggersees ist die Entwicklung eines nach naturschutzfachlichen Gesichtspunkten gestalteten Sees mit schonender Angelnutzung im Westteil des Gewässers. Bei der Rekultivierung können prinzipiell zwei Handlungskomplexe unterschieden werden:

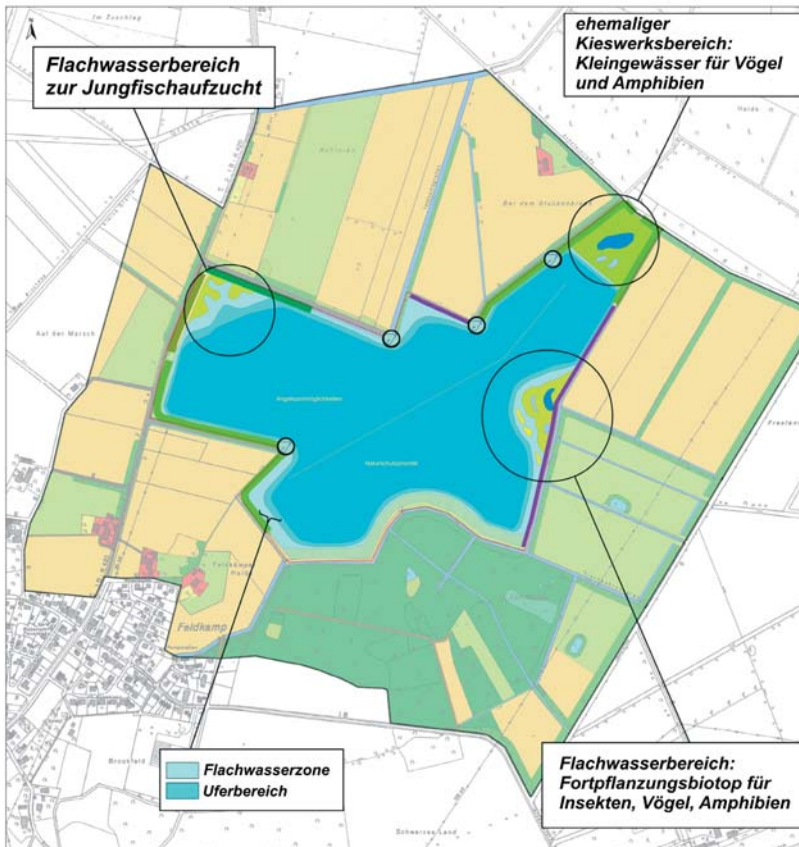


Abb. 5-78 Zugelassener Landschaftspflegerischer Begleitplan eines Kiessandabbaus

- Gestaltung einer naturnahen Uferzone mit Flachwasser, inselartigen Kuppen, Röhricht und abwechslungsreich modellierten Landflächen mit Kleingewässern,
- Gehölzpflanzungen (Wallhecken, Ufergebüsche) am See, Einrichtung einer halboffenen Gebüschlandschaft zwischen dem Wald und dem südlichem Seeufer.

Die Verwirklichung der Maßnahmen erfolgt ab Beginn der Abbautätigkeit, um eine möglichst baldige Funktionserfüllung der Flächen und Gehölze (Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Lärm, Sichtschutz) zu erreichen.

Die Gestaltung des Sees und der Gehölze wird das Vorkommen von Tieren und Pflanzen fördern. Die Maßnahmen sind besonders auf die Eignung für Verlandungs- und Pioniervegetation sowie für Wasser- und Watvögel, Amphibien, Fische und im Wasser lebende Wirbellose (z.B. Libellen) ausgerichtet. Gleichzeitig werden auch terrestrisch lebende Artengruppen gefördert, z.B. Wildbienen und Heuschrecken.

Schwerpunkte der Ufergestaltung sind im dargestellten Lastfall drei größere Bereiche, in denen der Unterwasserbereich und die angrenzende neu gestaltete Landfläche breitflächig nach naturschutzfachlichen Kriterien hergerichtet werden. Hier werden insbesondere Amphibienlaichgewässer, wasserpflanzenreiche Jungfischbiotope, Brutinseln für Bodenbrüter (z.B. Flußregenpfeifer und Flussseeschwalbe) und schütter bewachsene Flächen für Watvögel und Heuschrecken geschaffen.

Bei den Gehölzpflanzungen wird eine naturraumtypische, standortgerechte Artenauswahl getroffen. Die Gehölze haben neben ihrer Funktion als Lebensraum und Nahrungsbiotop für Tiere auch eine abschirmende Wirkung. Hierdurch wird eine Beruhigung des Sees erreicht. Dies fördert störungsempfindliche Arten, z.B. Wasservögel oder trittempfindliche Vegetation, z.B. Röhricht.

5.6.3 Kosten Rekultivierungsmaßnahme

Bestandteil eines Landschaftspflegerischen Begleitplans ist die Abschätzung der Kosten der zugelassenen Rekultivierungsmaßnahme. Beim Genehmigungsgeber ist eine Sicherheit z.B. in Form einer Bürgschaft in angemessener Höhe zu hinterlegen, die die Durchführung der Rekultivierungsmaßnahmen auch im Falle einer Insolvenz des Abbautreibenden sicherstellt.

In einem Fallbeispiel wurden folgende Herstellkosten für die Durchführung der Rekultivierungsmaßnahmen kalkuliert (Tabelle 5-50).

Tabelle 5-50 Abschätzung Rekultivierungskosten

#	Gegenstand	Kosten [€]
1	Pflanzmaterial, Anlage und Entwicklung der Gehölze	91.650,00
2	Errichtung Zäune	60.000,00
3	Wall für die Wallhecke anlegen	1.800,00
	Summe Pflanzungen	153.450,00
4	Flachwasserzone anspülen	340.000,00
	Gesamtsumme Rekultivierung	493.450,00

**5.7 Fallbeispiel: Machbarkeit einer Grundsaug-
baggerung**

Die Bedeutung der Kenntnis der geotechnischen Parameter soll an dem nachfolgenden Fallbeispiel, bei dem die Machbarkeit einer Grundsaugbaggerung untersucht wird, dargestellt werden.

5.7.1 Aufgabenstellung

Im Zuge der Landgewinnung für den Neubau des Containerterminals Jade-Weser-Port, Wilhelmshaven, soll Sand aus bis zu 40 m Tiefe gewonnen und über eine Entfernung von bis 4 km an Land verspült werden (Abb. 5-79).

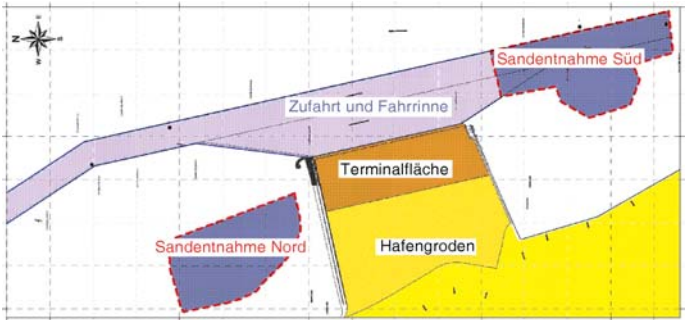


Abb. 5-79 Sandentnahmen mit Aufhöhungsfläche für Jade-Weser-Port Wilhelmshaven¹⁹¹

Im Böschungsbereich der holozänen Sande soll die Gewinnung bis ca. –20 mNN mittels Schneidkopfsaugbagger erfolgen. Die Böschungen sind profilgerecht im box-cut Verfahren herzustellen. Die von ca. –20 mNN bis zur maximal zulässigen Abbautiefe von –40 mNN anstehenden pleisto-

- Durchm. Saug-/Druckltg 0,7 - 0,8 m,
- inst. Gesamtleistung 7.300 kW,

davon

- Druckwasser 1.800 kW,
- UW-Pumpe 1.500 kW,
- Baggerpumpe 1x 3.200 kW,
- sonstige Antriebe 800 kW.

Mit dem Stechrohrsaugbagger soll eine effektive Leistung von 2.000 m³/h erzielt werden entsprechend einer Leistung von ca. 40.000 m³/d bzw. ca. 240.000 m³/W. Zu prüfen ist, ob diese Soll-Fördermenge in der vorhandenen Konfiguration des Stechrohrsaugbaggers erzielt werden kann.

5.7.2 Lagerstättenmerkmale

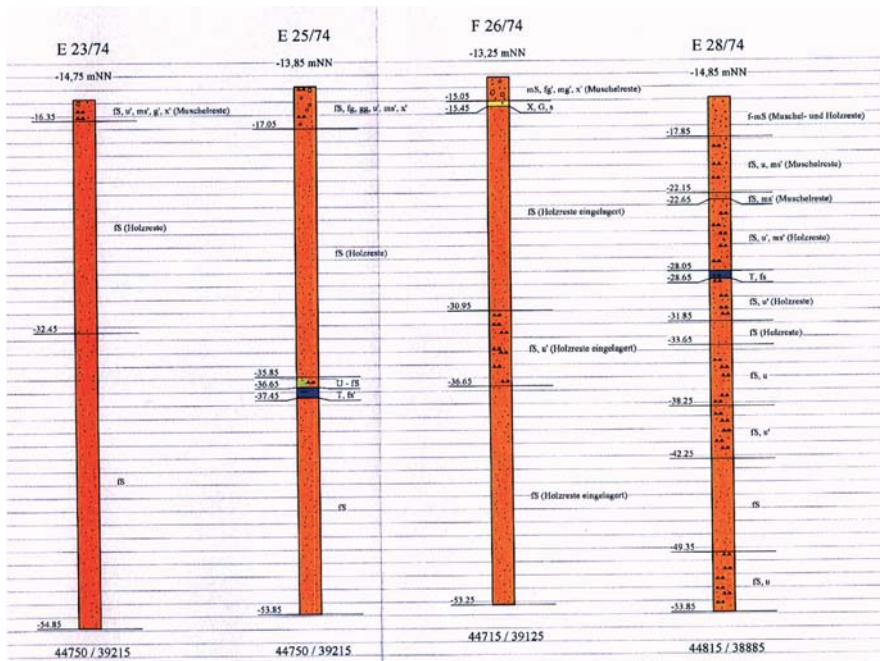
Die Sandentnahme Süd (SE-S) ist durch 5 verrohrte Rammkernbohrungen sowie durch 14 Drucksondierungen erschlossen. Die ausgeführte Anzahl Bohrungen scheint aus Sicht der Nassgewinnung als zu gering. Nach der Formel von Verbeek (3-32) ergäbe sich eine erforderliche Anzahl von mehr als 70 Bohrungen.

Bodenarten

Prinzipiell sind im Baggergebiet zu unterscheiden (Abb. 5-81)

- Schlick/ schluffige Wattsande,
- Wattsande, z. T. schwach schluffig,
- pleistozäne Sande.

Die Schichtenverzeichnisse zeigen i. M. ca. 4 m mächtige, bis ca. – 20 mNN anstehende rezente Schlicke sowie holozäne schluffige Fein- bis Mittelsande (Wattsande) mit kiesigen Einlagerungen sowie Muschelresten. Darunter stehen bis ca. –40 mNN pleistozäne Feinsande an, an deren Basis stellenweise Ton und Schluff eingeschaltet sind.



**Abb. 5-81 Schichtenverzeichnisse eines Sandvorkommens Nähe Wilhelmshaven
Kornverteilung**

Der d_{50} -Wert der Sande aus beiden Schichten beträgt im Mittel $480 \mu\text{m}$, der d_{mf} -Wert $460 \mu\text{m}$. Der Ungleichförmigkeitsgrad U beträgt ~ 5 (Abb. 5-82).

Zur Betrachtung der beim Grundsaugen eintretenden Bodenverflüssigung kommt es mit Anstieg des Porenwasserüberdruckes zum Verlust der Scherfestigkeit und Lastabtragung über das Korngemisch.

Zur Beurteilung des Verflüssigungspotentials des Bodens werden die Kriterien von Seed & Idriss und Raju angeführt, die in KTA 2201.2 beschrieben sind. Die Kornsummenkurve des zu betrachtenden Bodens ist danach in ein entsprechendes Diagramm einzutragen (Abb. 5-83).

Es ist aus Abb. 5-83 zu erkennen, dass sich die Kornverteilungsbänder der pleistozänen Sande im überwiegenden Maß außerhalb der Zone 2 und tw. außerhalb der Zone 1 befinden. Somit neigen diese Böden weniger zur Verflüssigung, sondern bilden mit den herkömmlichen Verfahren gem. DIN 4084 berechenbare mehr steile Böschungsneigungen.

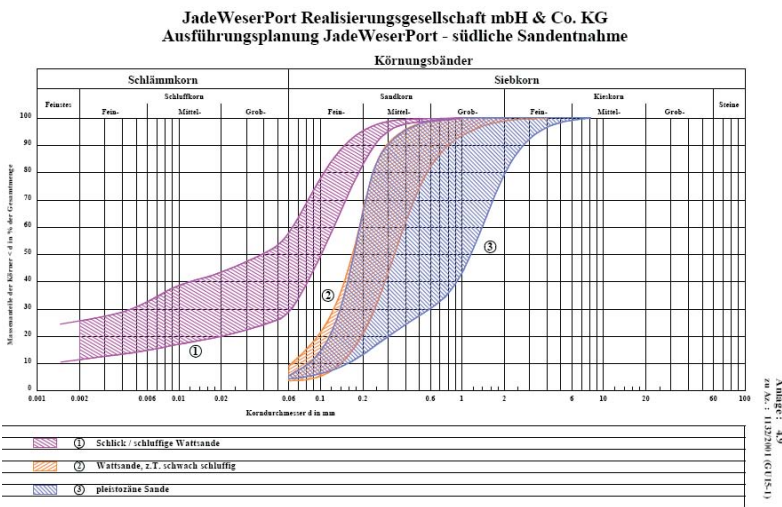


Abb. 5-82 Kornverteilungsbänder der verschiedenen Schichtglieder SE-S

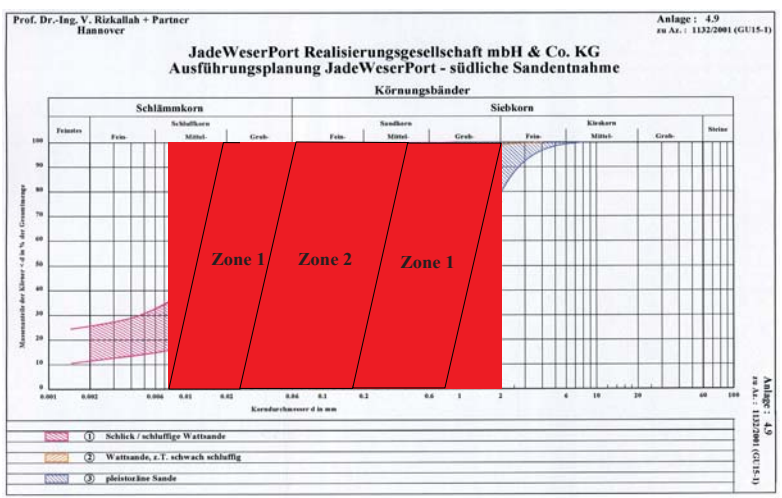


Abb. 5-83 Kornverteilungsbänder der SE-S (im Vergleich mit Verflüssigungspotentialbereichen nach Seed & Idriss in KTA 2201.2)

Kornform

Die Zurundung der Körner bedingt einen kleineren Reibungswinkel als bei kantigen Körnern wie im anstehenden pleistozänen Sand gegeben. Damit wird die Verflüssigung des Bodens in offensichtlicher Weise begünstigt. Eine größere Porenzahl als die kritische Porenzahl bedingt die beim Grundsaugen angestrebte Bodenverflüssigung. Das gilt für die anstehenden hangenden holozänen Sande, nicht jedoch für die basalen pleistozänen

Sande. Letztere haben eine mehr kantige Ausbildung und neigen deshalb zur Verzahnung, d.h. höherer Lagerungsdichte.

Diese Feststellung wird durch die Erfahrungen an einem anderen Standort in Norddeutschland mit vergleichbaren Bodenverhältnissen wie in SE-S anstehend bestätigt.

Lagerungsdichte

Eine der Drucksondierungen ist bis in eine Teufe von -51 mNN ausgeführt worden. Sie wird im Folgenden als repräsentativ für die gewinnungstechnische Auslegung der Abgrabung im Grundsaugeverfahren angenommen. Die Spitzendrücke weisen bis ca. -20 mNN sehr locker und locker gelagerte Sande aus mit Werten von < 6 MN/m². In den darunter anstehenden Sanden wachsen die Spitzendrücke sprunghaft auf bis zu ca. 50 MN/m² an. Die Sande werden als mitteldicht bis sehr dicht gelagert beschrieben.

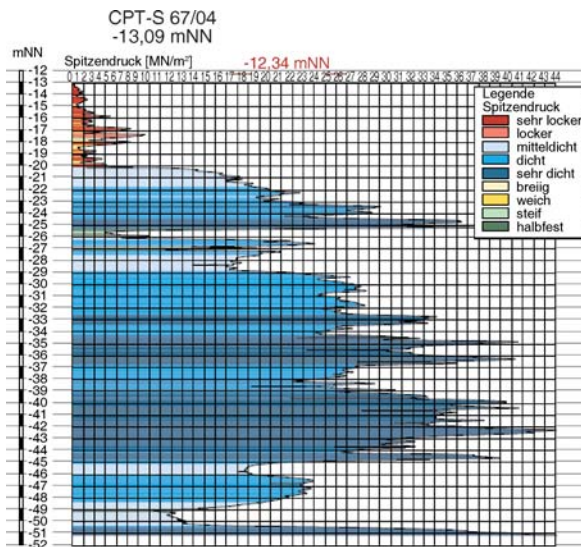


Abb. 5-84 Für die Auslegung maßgebliche Drucksondierung, Reibungswinkel

Von dem am Jade Weser Port gemessenen Spitzendrücken lässt sich auf den Winkel der inneren Reibung schließen. Dabei ist im Teufenbereich bis ca. -20 mNN von einem Reibungswinkel von $32,5^\circ$ - 35° auszugehen. Im Extremfall ist gem. EAU ein Reibungswinkel von lediglich $25,0^\circ$ anzunehmen, falls der anstehende Boden schluffig ausgeprägt ist. Im darunter anstehenden sehr dicht gelagerten Feinsand von $42,5^\circ$ - 45° (Abb. 5-84).

Zur Beantwortung der Frage nach der Größe der im Grundsaugeverfahren etwa zulaufenden Menge wurde zunächst die sich einstellende Böschungsneigung abgeschätzt. Die Berechnung der Böschungs-

standsicherheit erfolgte mit den Ansätzen der DIN 4084 (neu) mit Teilsicherheitsfaktoren gem. Fallbeispiel 3 der DIN 1055-100 (kurzfristige Böschungen) und dem Gleitkreisansatz gem. Bishop (Tabelle 5-51).

Tabelle 5-51 Für Standsicherheitsberechnung angesetzte Bodenkennwerte

Bodenart	Teufe unter GOK	φ'	c'
Wattsand	-11,00 bis -20,00 m	25,0°	0,0 kN/m ²
Pleistozäner Sand	-20,00 bis -40,00 m	42,0°	0,0 kN/m ²

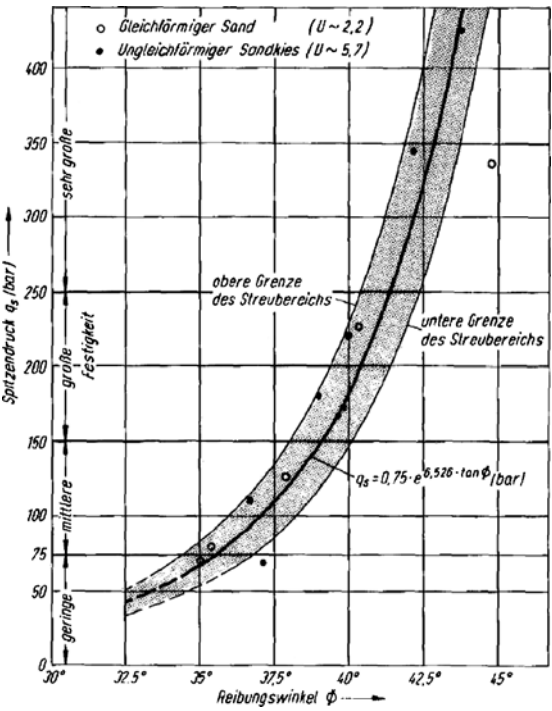


Abb. 5-85 Korrelation Spitzendruck - innerer Reibungswinkel ⁹²

Wie zuvor dargestellt, lassen sich die verflüssigungsgefährdeten Bodenschichten nicht mit herkömmlichen Rechenansätzen abbilden. Daher wurde die Böschungsneigung der schluffigen Auflagen und Wattsande, deren Korngrößenband innerhalb der Zone 2 liegt und die somit eine hohen Verflüssigungspotential besitzen, generell mit einer Böschungsneigung von 1:4 angesetzt. Die Standsicherheit der darunter liegenden Schicht pleisto-

zäner Sande mit tw. sehr hohen Spitzendrücken $> 35 \text{ MN/m}^2$ wurde mit unterschiedlichen Böschungsneigungen überprüft.

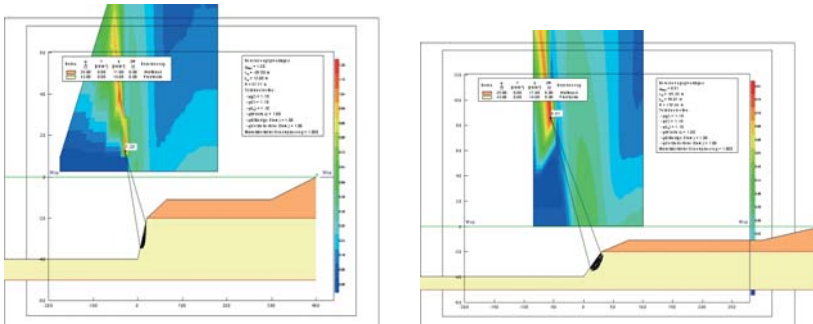


Abb. 5-86 Böschung in der SE-S; l. bei Neigung H:L=1:1, r. bei H:L=1:1,5

Die Standsicherheit einer Böschung mit H:L = 1:1 ergibt gem. rechnerischem Ansatz einen Ausnutzungsgrad von 1,20 und ist somit nicht standsicher (Abb. 5-86; (l.)). Die Standsicherheit einer Böschung mit H:L = 1:1,5 ergibt gem. rechnerischem Ansatz einen Ausnutzungsgrad von 0,81 und ist somit als standsicher (Abb. 5-86; (r.)) zu betrachten.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass bei Ansatz einer langfristigen Böschungsstabilität (Fallbeispiel 1) die Böschung mit einem Ausnutzungsgrad von 1,37 nicht standsicher ist.

5.7.3 Auswahl des Gewinnungsverfahrens

Das Modell des Grundsaugens ist in Abb. 5-87 dargestellt. Danach entsteht eine Schwerkraftströmung der fluidisierten Böden. Der durch das druckwasseraktivierte Saugrohr hergestellte Trichter erweitert sich durch das Setzungsfließen der Bodenschichten. Durch das Zulaufen des Bodens können große Mengen ohne Einsatz eines mechanischen Lösewerkzeuges wie Schneidkopf oder Schneidrad gefördert werden.

Das Abgraben im Grundsaugverfahren kann auf dreierlei Weise erfolgen, nämlich:

- Grundsaugen mit Pendelrohr,
- Stechsaugen (Abb. 5-87),
- Schneidsaugen.

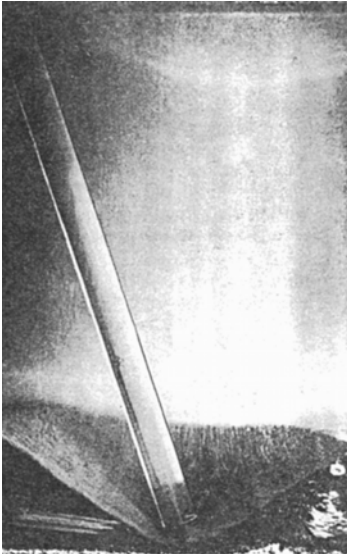


Abb. 5-87 Trichterbildung nach Grundsaugen mit Stechrohr im Modellversuch

Beim Schneidsaugen wird der Boden nicht mit mechanischem Lösewerkzeug wie Schneidkopf oder Schneidrad gelöst sondern mittels Hochdruck bei geringer Wassermenge. Denn bei dicht gelagerten Sanden wie im vorliegenden Fall reichen die normalerweise genutzten Drücke von ca. 6 - 16 bar bei Druckwassermengen von $< \text{ca. } 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ erfahrungsgemäß nicht aus, um genügend Boden zu lösen und das Material zum Fließen zu bringen⁸⁴. Der Wassereintrag bei Niederdruck $< 16 \text{ bar}$ erfolgt in dicht gelagerten Böden in nur ungenügender Eindringtiefe, um die Böschung zum Bruch zu führen.

Die sich beim Grundsaugen bildenden Zulaufkegel haben je nach Verfahren unterschiedliche Ausbildung wie in Abb. 5-89 modellhaft dargestellt. Die verschiedenen Grundsaugeverfahren führen damit zu unterschiedlichen Böschungsbruchmengen. Am geringsten sind die Bruchmengen beim Grundsaugen mit Pendelrohr. Sie betragen in diesem Fall im pleistozänen Sand $< 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

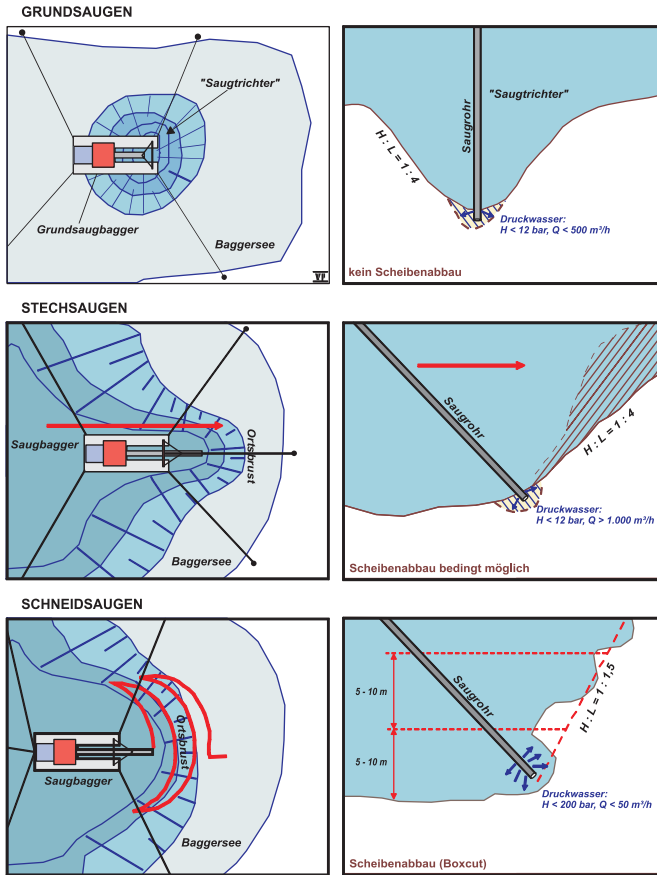


Abb. 5-88 Prinzipskizzen der verschiedenen Grundsaugverfahren

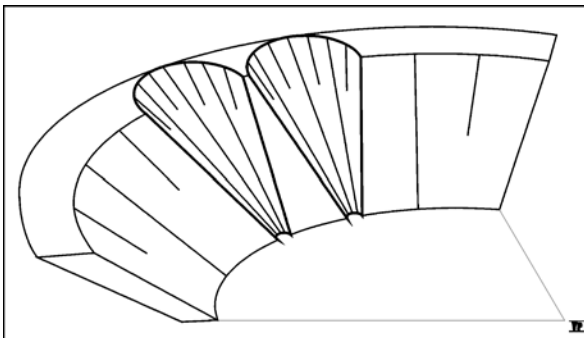


Abb. 5-89 Skizze des nach Grundsaugen mittels Pendel- od. Stechrohr im pleistozänen Sand sich ausbildenden Kegels

Beim Grundsaugen mit Pendelrohr als auch beim Stechsaugen ist kein kontrollierter Abbau möglich, der jedoch im Bereich der Endböschung zwingend erforderlich ist. Bei Anwendung dieser Verfahren bedeutet das eine Minderung der gewinnbaren Mengen. Außerdem besteht immer das Risiko plötzlich nachbrechender Böden, die das Saugrohr verschütten und dabei erheblich beschädigen bzw. sogar zu dessen Verlust führen können.

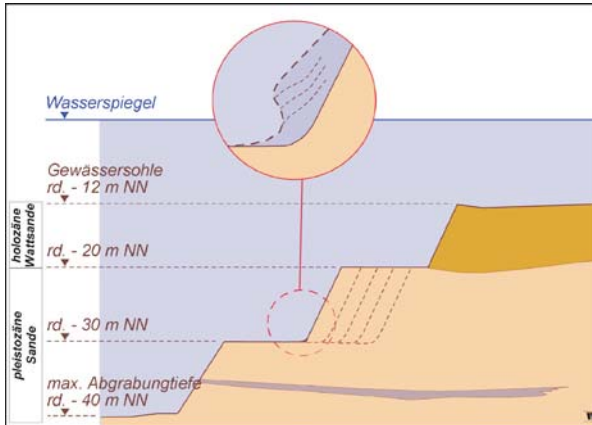


Abb. 5-90 Schema Schneidsaugen

Beim Schneidsaugen dagegen kann ein zumindest semikontrollierter Abbau in Scheiben erfolgen, der eine planmäßige Böschungsbaggerung möglich macht. Die Gewinnungsverluste sind erfahrungsgemäß zwar größer als beim mechanischen Lösen mittels Schneidkopf oder Schneidrad, jedoch erheblich geringer als beim unkontrollierten Grundsaugen mittels Stech- oder Pendelrohr (Abb. 5-90).

Deswegen wird empfohlen, im vorliegenden Fall das Schneidsaugen mit Hochdruck bei besonderer Ausbildung des Saugkopfes vorzunehmen. Mit dieser Methode lässt sich eine Leistung von $> 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ erzielen.

5.8 Geräteauswahl mit dem Planungssystem ALOG[®]

Eine im Zuge der Nassgewinnung infolge der Gerätevielfalt häufig auftretende Fragestellung ist die nach dem optimalen Gewinnungsgerät. Bei der Auswahl sind insbesondere die Besonderheiten der Lagerstätte, maximaler Abbau und ökologische Probleme zu betrachten. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens mit Förderung durch die DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, wurde das Planungssystem ALOG[®] für den Abbau von Lockergesteinen entwickelt, dessen Leistungsfähigkeit in-

zwischen durch die erfolgreiche Bearbeitung einer ganzen Reihe von Abbauvorhaben nachgewiesen ist.

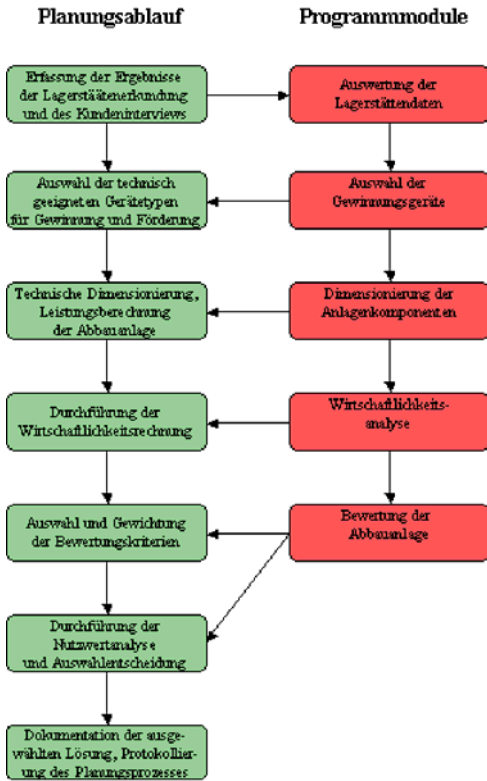


Abb. 5-91 Verknüpfung des Planungsablaufes bei ALOG® mit den Programmmodulen

Die Zielstellungen bei der Anwendung des Planungssystems sind vor allem:

- Auswahl der technisch möglichen Abbauanlagen (Gewinnungs-, Voraufbereitungs- und Förderanlagen),
- Dimensionierung und Leistungsberechnung der Anlagen,
- Wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Anlagenvarianten,
- Auswahl der optimalen Anlagenvariante im Rahmen einer komplexen Entscheidungssituation.

In Anbetracht der Vielfalt unterschiedlicher geologischer Gegebenheiten, der Variantenvielfalt bei den Geräten und der komplexen Güteanforderungen, die der jeweilige Lösungsvorschlag erfüllen muss, können derartige Planungsaufgaben nur bei einer effektiv strukturierten Vorgehensweise

und mit Unterstützung durch ein hierauf ausgerichtetes Softwaresystem erfolgreich bearbeitet werden.

Diesem Ziel dient der in Abb. 5-91 angegebene Planungsablauf, wobei die für die einzelnen Planungsschritte erforderlichen Programmmodule von ALOG[®] mit ausgewiesen sind. Die Programmmodule umfassen Modelle, Methoden und Regeln und stützen sich auf Stammdaten und projektspezifische Daten. Diese Zusammenhänge sind in Abb. 5-92 dargestellt.

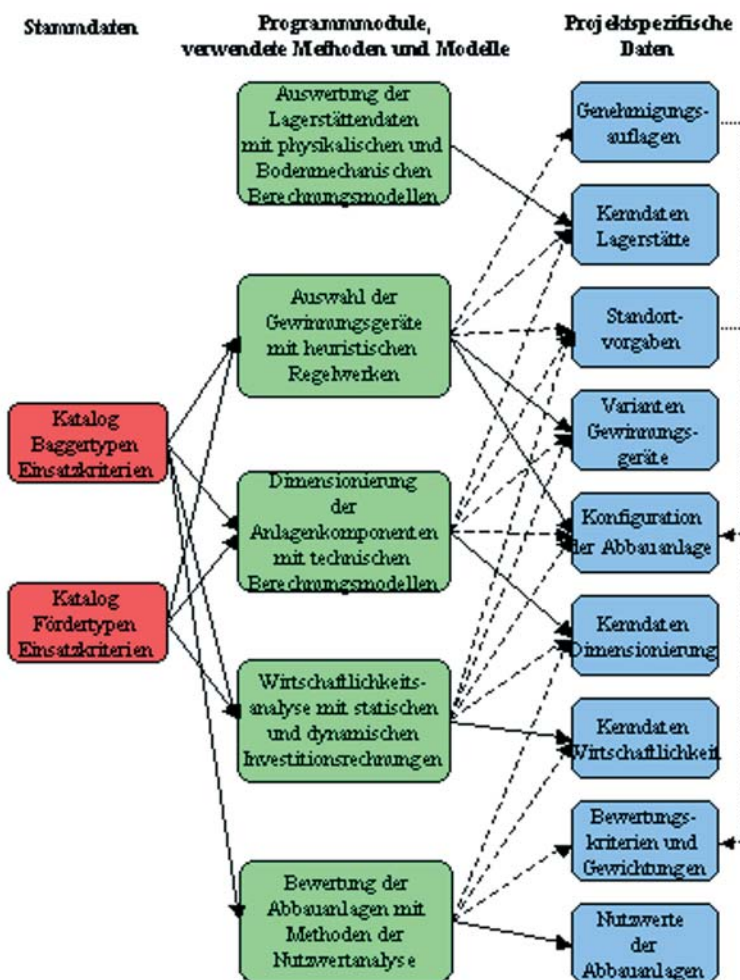


Abb. 5-92 Verknüpfung der Programmmodule mit den Datenbereichen

Für die Gewinnung werden in ALOG® 28 unterschiedliche Geräte berücksichtigt, für die Förderung 4 mechanische und 2 hydraulische Geräte bzw. Einrichtungen und für die Voraufbereitung jeweils Varianten für Klassierung, Zerkleinerung und Entwässerung.

Die Auswahl der Gewinnungsgeräte erfolgt durch Anwendung heuristischer Regeln so, dass lediglich die für den betreffenden Fall technisch geeigneten Gewinnungsgeräte selektiert und für die weitere Bearbeitung bereitgestellt werden. Damit werden auch eine Eingrenzung des Lösungsraumes und Reduzierung des Aufwandes in den nachfolgenden Berechnungsschritten erreicht.

Um diese Vorgehensweise zu ermöglichen wurde eine Datenbank entwickelt, in der alle Gewinnungsgeräte mit Einsatzkriterien gekennzeichnet wurden. Mit diesen Einsatzkriterien werden die Lage des Abbaufeldes (terrestrisch, marin), die Gewinnungsart (Trocken-, Nassabbau), die Antriebsart (Diesel, elektrisch), die Bodenklasse mit den zugehörigen Lockergesteinskennwerten, die maximal zu fördernde Korngröße, die maximale Abbautiefe und weitere Gesichtspunkte erfasst.

Die technisch zulässigen Kombinationsmöglichkeiten von Gewinnungs- und Fördergeräten sind ebenfalls in geeigneter Form abgespeichert.

Für die Bewertung wird eine problembezogene Version der Nutzwertanalyse verwendet. Dies ermöglicht es jede technisch zulässige Alternativen unter gleichzeitiger Berücksichtigung technischer Kriterien, wirtschaftlicher Kriterien, sozialer Kriterien und ökologischer Kriterien zu bewerten. Dabei können Kriterien verwendet werden, deren Erfüllung direkt quantitativ ausgedrückt werden kann, als auch Kriterien deren Erfüllung zunächst nur qualitativ beschreibbar ist. In der nächsten Abbildung ist dieses Kriteriensystem dargestellt.

Für die Durchführung der Nutzwertanalyse verfügt ALOG® über eine Datenbasis und Berechnungsmethoden, mit deren Hilfe alle Gerätevarianten in Bezug auf die Erfüllung der Gütekriterien beschrieben werden können.

Da viele Daten, die in den Planungsprozess eingehen unsicher sind, ist es wichtig, auch sichtbar zu machen, in wie weit das Planungsergebnis von diesen Unsicherheiten beeinflusst wird. ALOG® verfügt über entsprechende Funktionalitäten, sodass auch im Endergebnis sichtbar wird, mit welcher Schärfe sich konkurrierende Gerätealternativen unterscheiden.

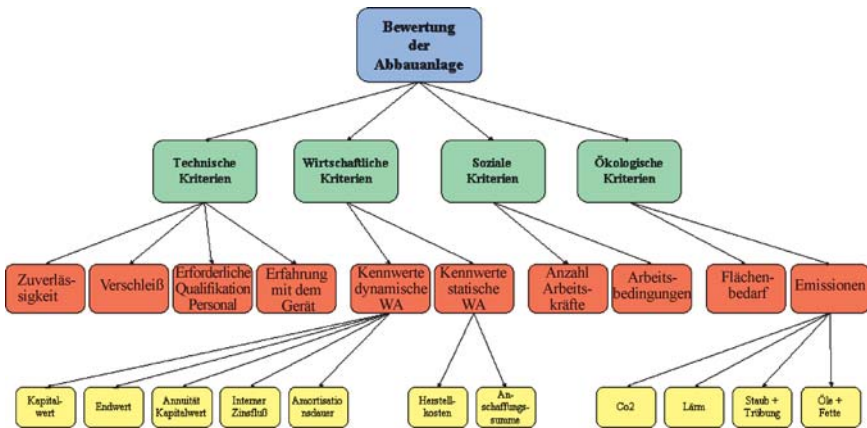


Abb. 5-93 Zielprogramm bei der Bewertung von Gewinnungsverfahren im Lockergestein

Die rechentechnische Realisierung von ALOG[®] erfolgte in einer sehr anwenderfreundlichen Weise um die praktische Nutzung in der Kies- und Sandindustrie zu ermöglichen. Die Gestaltung der graphischen Oberflächen und die gesamte Dialogführung sind in unmittelbarer Anlehnung an die in der Industrie gängigen Betrachtungsweisen ausgeführt worden.

5.8.1 Fallbeispiel: Geräteauswahl mit ALOG[®]

Bei dem vorgestellten Lastfall handelt es sich um Kiessandabbau aus einer unverritzten Lagerstätte mit stark heterogenen Material und bewegter Morphologie des Liegenden. Anhand dieses Lastfalles soll untersucht werden welche Abbauanlage zu wählen ist. Es wird auch dargestellt, wie der Verlauf einer Geräteauswahl ohne eine methodologische Vorgehensweise in der Praxis erfolgte und welche Folgen diese Entscheidungen haben.

Bei dem beispielhaft untersuchten Fall handelt es sich um eine Lagerstätte in Norddeutschland, in der eine Primärgewinnung vorgenommen werden soll. Die Lagerstätte liegt in einem Gletschertorbereich einer wechsellagernden Endmörane und ist gekennzeichnet durch:

- eine stark heterogene Kornverteilung,
- große Anteile von Überkorn und
- bewegter Morphologie des bindigen Liegenden.

Ein kleiner Teil der Lagerstätte wurde bereits mit einem druckwasseraktivierten Grundsaugbagger ausgebeutet. Der Einsatz dieses Gerätes wurde jedoch auf Grund einer sehr geringen Produktionsleistung, u.a. bedingt

durch häufige Stillstandszeiten aufgrund hohen Verschleißes und häufiger Entleerung des Steinfangs im Saugrohr zunächst abgebrochen. Nachfolgend war daher zu untersuchen, welche Gerätealternativen existieren und wie diese im Verhältnis zu dem zu dem bisher eingesetzten Gewinnungsgerät zu beurteilen sind.

5.8.1.1 Lagerstättendaten und Kundeninterview

In dem Fallbeispiel wurden von den zuständigen Behörden keine den Lösungsraum hinsichtlich des Gewinnungsgerätes einschränkende Genehmigungsaufgaben gemacht.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Lagerstättenerkundung und Auswertung der Lagerstättendaten (Abb. 5-94) aufgeführt.

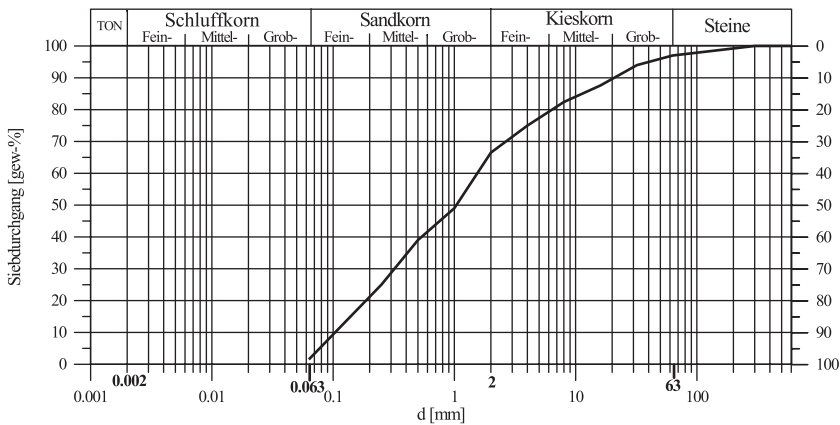


Abb. 5-94 Kornverteilung der Lagerstätte

Tabelle 5-52 Lagerstättenspezifische Kenndaten

Kenngröße/Merkmal	Wert	Einheit
Lage des Abbaufeldes	Terrestrisch	
Gewinnungsart	Nassabbau	
Bergmännisch gewinnbarer Vorrat	10.012.000,00	t
max. nutzbarer Vorrat	9.135.000,00	t
Mittl. Abbaufäche	97,50	ha
Trockendichte	1.700,00	kg/m ³
max. Abgrabungstiefe	24	m u. Wsp.
d ₅₀	1,05	mm
U	12,80	
D	0,20	
Eckigkeit	1,40	
l _p	0,10	
l _c	0,10	
Schlagzahl N ₃₀ (DPS)	15,00	
Bodenklasse	I (rollig, gemischt-, grobkörnig)	
Scherfestigkeit	86,00	N/cm ²
erforderliche Schnittkraft	934,00	N/cm

In der nachfolgenden Tabelle sind die Standortvorgaben für das Fallbeispiel dargestellt.

Tabelle 5-53 Standortvorgaben

Produktionsvorgaben		
Planleistung	300.000	t/a
Arbeitstage	200	d/a
Arbeitsstunden	10	h/S
Anzahl Schichten	1	S/d
zu fördernde Steingröße	100	mm
Förderung landseitig	300	mm
Förderung wasserseitig	300	mm

5.8.1.2 Auswahl der technisch geeigneten Gewinnungsgeräte

Aufgrund der Ergebnisse der Phase 1 wurden vom heuristischen Modul des Planungssystems folgende sieben Gewinnungsgeräte als technisch verwendbar ausgewählt:

- Eimerkettenbagger,
- Greiferbagger,
- Traktorkettensaugbagger,
- Schneidkopfsaugbagger,
- Schneidradsaugbagger,
- Druckwassersaugbagger,
- Airliftbagger.

Anschließend erfolgte die Kombination der Gewinnungsgeräte, Förder- und Voraufbereitungsgeräte mit ALOG®. Zur besseren Übersicht wurde dabei je Gewinnungsgerät lediglich eine Variante einer möglichen Abbauanlage mit Förder- und Voraufbereitungsgeräten kombiniert.

Die Gewinnungsgeräte mit mechanischem Löseverfahren wurden mit folgenden Förder- und Voraufbereitungsgeräten kombiniert:

- Schwimmendes Förderband (Länge 300 m),
- Entwässerungssieb und
- Landgestütztes Förderband (Länge 300 m).

Die Gewinnungsgeräte mit hydraulischem, hydromechanischem oder pneumatischem Löseverfahren wurden mit folgenden Förder- und Voraufbereitungsgeräten kombiniert:

- 300 m schwimmende Rohrleitung (Länge 300 m),
- Schöpfrad und
- 300 m landgestützte Rohrleitung (Länge 300 m).

5.8.1.3 Dimensionierung der Abbauanlagen

Nachfolgend sind die Dimensionierungsergebnisse der einzelnen Geräte der Abbauanlagen dargestellt (Tabelle 5-54). Die Zwischenergebnisse der einzelnen Berechnungsmodelle können im Programmablauf des Planungssystems eingesehen werden.

Auffallend ist der hohe Leistungswert des Airliftbaggers, der einerseits durch die geringe Wassertiefe und andererseits durch den Leistungsbedarf der zusätzlichen hydraulischen Förderung zu erklären ist.

Tabelle 5-54 Dimensionierungsergebnisse der Gewinnungsgeräte des Fallbeispiels

ermittelte Gewinnungsgeräte	KenngroÙe	Installierte Leistung
	[l,m³,mm]	[kW]
Eimerkettenbagger	100	74
Greiferbagger	3	176
Traktorkettensaugbagger	250	320
Schneidkopfsaugbagger	250	413
Schneidradsaugbagger	250	413
Jetaktivierter Saugbagger	250	397
Airliftbagger	990	716

Tabelle 5-55 zeigt die Dimensionierungsergebnisse der Förder- und Voraufbereitungseinrichtungen.

Tabelle 5-55 Dimensionierungsergebnisse der Förder- und Voraufbereitungsgeräte des Fallbeispiels

vorgegebene Fördergeräte	KenngroÙe [t,m,mm]	installierte Leistung [kW]
mechanisches Löseverfahren		
Transportband, Wasser	500	74
Transportband, Land	500	74
Entwässerungssieb	500	14
hydraulisches, hydropneumatisches, pneumatisches Löseverfahren		
Rohrleitung, Wasser	250	0
Rohrleitung, Land	250	0
Schöpfrad	100	11

Eine Zwischenstation für die Rohrleitungen ist nicht erforderlich, da die erforderliche Leistung bereits bei der Dimensionierung der Saugbaggerpumpe berücksichtigt wurde.

5.8.1.4 Ermittlung der Wirtschaftlichkeitskenndaten

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind in Tabelle 5-56 und Tabelle 5-57 aufgelistet.

Tabelle 5-56 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Teil 1

Gewinnungsgerät Rangfolge		1	2	3
Gewinnungsgerät		Schneidrad SB	Traktorketten SB	Schneidkopf SB
mittlerer Neuwert	€	1.668.364	1.340.007	1.995.365
Reparaturkosten	€/a	157.068	211.319	187.854
Energiekosten	€/a	170.753	152.445	170.753
Personalkosten	€/a	92.031	91.824	92.031
Σ Kosten Gewinnung	€/a	419.853	455.588	450.638
Fördergeräte				
Σ mittlerer Neuwert	€	570.854	570.854	570.854
Σ Reparaturkosten	€/a	59.241	57.886	59.241
Σ Energiekosten	€/a	5.259	5.138	5.259
Σ Personalkosten	€/a	0	0	0
Σ Kosten Förderung	€/a	64.500	63.025	64.500
Wirtschaftlichkeitsanalyse				
Kapitalwert	€	3.055.630	2.528.162	2.456.933
Endwert	€	9.020.721	6.092.480	7.253.268
Annuität	€/a	323.462	302.497	260.085
Amortisationsdauer	a	5	4	6
interner Zinsfuß	%	10	10	9
Herstellkosten gewinnb	€/t	1,85	1,92	1,99
Herstellkosten nutzbar	€/t	2,02	2,10	2,18
Nutzwert				
mittlerer		1.000	920	909
unterer		848	786	757
oberer		1.152	1.053	1.061

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse ergibt, dass alle hier betrachteten Alternativen wirtschaftlich zu realisieren sind.

Tabelle 5-57 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Teil 2

Gewinnungsgerät Rangfolge		4	5	6
Gewinnungsgerät		Eimerketten- bagger	Jetaktivierter SB	Pneumabagger
mittlerer Neuwert	€	1.544.530	1.341.723	2.000.782
Reparaturkosten	€/a	195.372	99.546	222.665
Energiekosten	€/a	13.623	151.047	75.703
Personalkosten	€/a	91.479	92.456	91.273
Σ Kosten Gewinnung	€/a	300.473	343.049	389.642
Fördergeräte				
Σ mittlerer Neuwert	€	910.704	570.854	570.854
Σ Reparaturkosten	€/a	45.601	54.467	54.467
Σ Energiekosten	€/a	63.900	4.835	4.835
Σ Personalkosten	€/a	0	0	0
Σ Kosten Förderung	€/a	109.501	59.302	59.302
Wirtschaftlichkeitsanalyse				
Kapitalwert	€	1.772.766	1.139.836	725.456
Endwert	€	3.045.942	1.598.679	1.017.489
Annuität	€/a	296.881	277.995	176.932
Amortisationsdauer	a	5	4	4
interner Zinsfuß	%	9,50	10,18	8,77
Herstellkosten gewinnb	€/t	1,92	2,18	2,47
Herstellkosten nutzbar	€/t	2,11	2,39	2,70
Nutzwert				
Mittlerer		805	709	646
Unterer		710	644	581
Oberer		899	773	710

5.8.1.5 Auswahl und Wichtung der Bewertungskriterien

Die Auswahl und Wichtung der Bewertungskriterien erfolgt nach Tabelle 5-58.

Tabelle 5-58 Beispielhafte Wichtung der Zielkriterien für das Fallbeispiel

Nr. i	Bewertungskriterien	Wichtung		
		Ebene 2	Ebene 1	Gesamt
	Bewertung von Abbauanlagen			100%
T	Technische Kriterien		100%	20%
1	Erf. Qualifikation des Personals		10%	2,0%
2	Verschleiß		40%	8,0%
3	Störanfälligkeit		30%	6,0%
4	Erfahrung mit dem Gerät		20%	4,0%
W	Wirtschaftliche Kriterien	100%	100%	60,0%
5	Spezifische Herstellkosten		10%	6,0%
	Dyn. Wirtschaftlichkeitskennwerte		80%	
6	Vermögensendwert	0%		0,0%
7	Interner Zinsfuß	0%		0,0%
8	Kapitalwert	100%		48,0%
9	Amortisationsdauer	0%		0,0%
10	Anschaffungssumme		10%	6,0%
S	Soziale Kriterien		100%	5%
11	Anzahl der Arbeitsplätze		10%	0,5%
12	Arbeitsbedingungen		90%	4,5%
O	Ökologische Kriterien	100%	100%	15%
13	Gewinnungsverluste		70%	10,5%
	Emissionen		20%	3,0%
14	Öle und Fette	20%		0,6%
15	Staub oder Trübung	30%		0,9%
16	Lärm	50%		1,5%
17	Energieverbrauch		10%	1,5%

5.8.1.6 Durchführung der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse unter Berücksichtigung der Entscheidungsmodelle MAXMIN (es wird die Alternative nach dem maximalen pessimistischen Nutzwert ausgewählt mit dem Ergebnis einer konservativen Rangfolge der Alternativen) und Laplace (es wird die Alternative nach dem größten arithmetischen Mittelwert der optimistischen und pessimistischen Nutzwerte gewählt) führt zu dem Ergebnis, dass der Schneidradaugbagger in Kombination mit Rohrleitung und Schöpfrad sowohl unter progressiven als auch konservativen Betrachtungen die für diesen Lastfall optimale Abbauanlage ist.

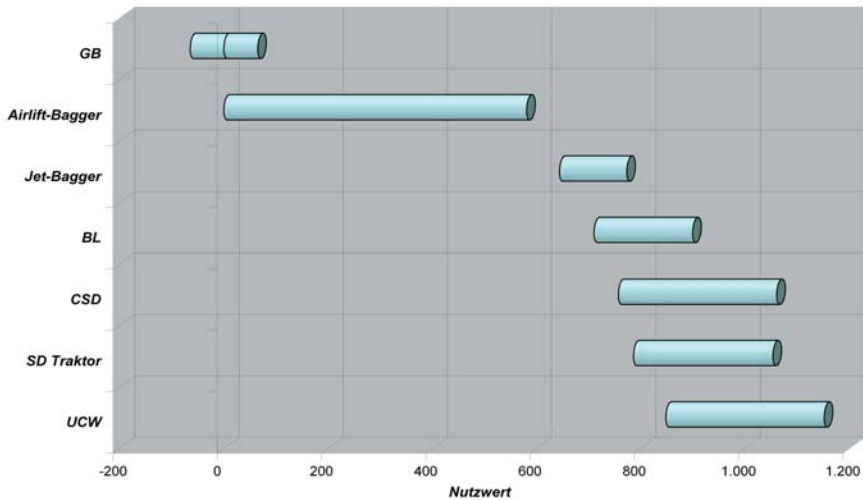


Abb. 5-95 Nutzwertbänder für die untersuchten Geräte
 (GB: Greiferbagger, Jet-Bagger: druckwasseraktivierter Grundsaugbagger; BL: Eimerkettenbagger; CSD Schneidkopfsaugbagger; SD-Traktor: Grundsaugbagger mit Traktorkette; UCW: Schneidradsaugbagger)

5.8.1.7 Diskussion der Ergebnisse

In dieser Lagerstätte wurde ursprünglich ein druckwasseraktivierter Grundsaugbagger mit Maulkorb und Rohrförderung eingesetzt. Als Maulkorb wird eine Stahlgitterkonstruktion vor dem Saugrohr bezeichnet. Die Gewinnung mit dieser Abbauanlage wurde jedoch eingestellt, da sich die geplante Produktionsleistung von 150 t/h auf weniger als 80 t/h reduzierte. Ursachen waren die hohen Stillstandszeiten aufgrund verschleißbedingter Reparaturen und die häufigen Entleerungen des Steinfangkastens.

Zudem konnte mehr als 35 % des gewinnbaren Lagerstätteninhalts nicht abgebaut werden, da sich durch den „stone-plating“ Effekt der Baggerung ein festes, mit dem Bagger nicht zu durchdringendes Zwischenmittel gebildet hat. Die Gewinnung mit dieser Abbauanlage wurde folglich eingestellt.

Mit dem Planungssystem wurden die schlechten Ergebnisse des Grundsaugbaggers bestätigt. So zeigte die Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass der Grundsaugbagger u.a. aufgrund der hohen Gewinnungsverluste lediglich 37% des maximal erreichten Kapitalwerts erwirtschaftet.

Im Betrieb wurde in der Folgezeit unsystematisch nach Alternativlösungen gesucht. Folgende Varianten wurden betrachtet, die nachfolgend mit den Ergebnissen des Planungssystems verglichen werden.

Eimerkettenbagger mit Bandstraße

Wurde vom Betrieb verworfen, da die Anschaffungssumme zu hoch erschien. Wie die Berechnung am Beispiel des Schneidradaugbaggers zeigt, hat eine relativ hohe Anschaffungssumme nicht zwangsläufig die Unwirtschaftlichkeit der Abbauanlage zu Folge. In diesem Fall konnte jedoch nachgewiesen werden, dass der Eimerkettenbagger, bedingt durch die hohen Gewinnungsverluste (s.o.), tatsächlich nicht die wirtschaftlichste Abbauanlage ist. Die auf pauschalen Aussagen beruhende und wirtschaftlich nicht weiter hinterlegt Entscheidung die Abbauanlage nicht auszuwählen war in diesem Fall richtig. Allerdings liegt diese Variante hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit noch vor dem bisher eingesetzten Gewinnungsgerät.

Airliftbagger mit Rohrleitung

Wurde vom Betrieb nach Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsanalyse verworfen. Das Planungssystem weist hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit tatsächlich eine im Vergleich zu den anderen Alternativen geringe Kapitalerwirtschaftung aus. Die Entscheidung des Betriebes stimmt mit dem des Planungssystems überein.

Traktorkettengrundsaugbagger mit Rohrleitung

Wurde vom Betrieb zunächst bestellt. Der Auftrag wurde aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich der Verschleißkosten storniert. Das Planungssystem ergibt für diese Abbauanlage sowohl hinsichtlich der Nutzwertanalyse als auch bei der Wirtschaftlichkeit ein sehr gutes Ergebnis. Hinsichtlich des Laplace Kriteriums und des Kapitalwertes ist diese Anlage die Zweitbeste.

Druckwasseraktivierter Grundsaugbagger ohne Maulkorb und Rohrleitung

Der bereits vorhandene Saugbagger wurde ohne Maulkorb eingesetzt (s.o.), um den „stone-plating“ Effekt zu verringern. Der Betrieb wurde jedoch aufgrund der geringen Produktionsleistung wiederum eingestellt, da die Entfernung des Maulkorbes zu einer deutliche Erhöhung der Ausfallzeiten durch Reparaturen führte. In Anbetracht des geringen Nutzwertes und der relativ ungünstigen wirtschaftlichen Kriterien ist dieses Entscheidung auch anhand der Ergebnisse des Planungssystems nachzuvollziehen.

Schleppschaufelbagger mit Bandstrasse

Wurde vom Betrieb zunächst geplant, dann jedoch nicht weiter berücksichtigt. Diese Abbauanlage wurde durch die geringere Abbautiefe nicht in den Lösungsraum übernommen.

Landgestützter Tieflöffelbagger mit Bandstrasse

Wurde kurzfristig eingesetzt. Gewinnt aufgrund der gerätebedingten Tiefenbeschränkung lediglich 30% des Kieshorizontes. Ein langfristiger Einsatz ist nicht geplant. Wurde, wie der Schleppschaufelbagger, im Planungsablauf nicht berücksichtigt.

Schwimmgreiferbagger in Kombination mit einem Grundsaugbagger und Rohrleitung

Diese Anlage wurde als Ergebnis des betrieblichen Planungsprozesses realisiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass einerseits die vom Planungssystem ermittelte optimale Abbauanlage, der Schneidradsaugbagger mit Rohrleitung, überhaupt nicht in Erwägung gezogen wurde. Andererseits wurde mit dem Greiferbagger die Abbauanlage ausgewählt, die den geringsten Nutzwert und Kapitalwert besitzt. Zudem wurde dieses Gewinnungsgerät mit einem Grundsaugbagger kombiniert, so dass unter den gegebenen Bedingungen die Wirtschaftlichkeit des Abbaus nicht gewährleistet sein kann.

Das untersuchte Fallbeispiel unterstreicht eindrucksvoll die Notwendigkeit einer umfassenden, objektivierten Analyse aller geeigneten Geräte, um die technisch-wirtschaftlichste Alternative auswählen zu können.

5.9 Abbaukontrolle

Die Durchführungskontrolle der Nassgewinnung kann manuell und ohne Einsatz aufwendiger Vermessungseinrichtungen nach verschiedenen Methoden erfolgen, z.B. durch:

- **Soll-Fluchten** mittels
 - Baken an Land und im Uferbereich,
 - Fluchtstangen an Land,
 - Bojen auf dem Baggersee oder
 - sonstige Merkmale in der Landschaft.
- **Markierung an den Verholseilen** mittels Benzeln oder Farbmarkierungen,
- **Handlotungen** rund um den Bagger.

Die Anwendung optischer Instrumente wie Entfernungsmesser, Tachymeter o.ä. bedeutet eine Aussageverbesserung. Abb. 5-96 gibt eine Übersicht zu Anordnungen optischer Kontrollmöglichkeiten.

Heutzutage sollte jeder Schwimmbagger mit einer Abbaukontrollanlage ausgestattet sein, mit deren Hilfe der Fortgang der Baggerung auf Basis einer GPS-Positionierung (Abb. 5-99) dem Baggermeister kontinuierlich auf einem Monitor sichtbar gemacht wird. Zu jedem Zeitpunkt nach Inbetriebnahme des Baggers ist die Position des Lösewerkzeugs dokumentiert.

Der Baggermeister kann sich anhand des digitalen Geländemodells rechtzeitig auf sich ändernde geologische Verhältnisse, Böschungsbereiche oder Liegendgrenzen einstellen. Darüber hinaus wird ihm der Erfolg der Abgrabung unverzüglich sichtbar gemacht, so dass er ggf. sofort eine Nachbaggerung vornehmen kann, bevor der Bagger in den neuen Anschnitt verlegt wird. Die Software schließt weiter einen Algorithmus zur Mengenberechnung ein, so dass Mengen aus unterschiedlichen Lagerstättenbereichen ermittelt und damit die Vorhalde mit gleichmäßigerem Rohstoff beschickt werden kann.

Alles Datenmaterial über die Baggerung steht darüber hinaus auch der auswertenden Betriebsabteilung zur Verfügung.

Durch weitere ergänzende Ausstattung der Abbaukontrollanlage mittels einer Multi-Echolotanlage, die vorzugsweise bei der Böschungsbaggerung eingesetzt wird, oder mittels eines 360° messenden Sonars, wird das Ergebnis der Baggerung in Lage-, Seiger- und Raumriß dargestellt. Etwaige Überbaggerungen von ebenfalls angezeigten Soll-Böschungslinien, Nachlauf von Material aus Böschungen und dessen Verteilung im Sohlbereich können sofort erkannt werden und lassen so eine kontrollierte Baggerung zu. Dies gilt insbesondere für Tagebaue mit größeren Mächtigkeiten, wie z.B. an den Oberläufen von Rhein, Weser oder Elbe, wo wegen der großen Mächtigkeiten mit nicht zwangsgeführten Lösewerkzeugen abgebaut wird.

5.9.1 Handlotungen

Handlotungen dienen oftmals im unmittelbaren Umfeld des Baggers der Tiefenkontrolle. Flächendeckende Kontrolle kann damit wegen des unvertretbar hohen Aufwandes nicht erreicht werden.

Die Handlotung geht der Echolotung zu Kalibrierungszwecken stets voraus. Das Echolot ist unter Berücksichtigung von Temperatur und Salzgehalt des Gewässers zu kalibrieren.

5.9.2 Echolotpeilungen

Das Gewässer wird mit Hilfe eines Echolots in regelmäßigen zeitlichen Abständen gepeilt. Die genehmigungsrechtliche Auflage bedingt Messun-

gen häufig in größeren zeitlichen Abständen meist von 2 Jahren, in bergrechtlich überwachten Tagebauen ist das Risswerk jährlich zu ergänzen.

Betriebliche Peilungen werden häufig nur in besonderer Situation durchgeführt, da die Nassgewinnung eine von mehreren Kostenstellen ist. Die eigentliche Mengenkontrolle erfolgt häufig nur am fertigen Produkt nach Aufbereitung und Aufhaldung. Es ist leicht erkenntbar, dass damit keine zeitnahe Kontrolle der Nassgewinnung erfolgt und so Fehlbaggerungen, z.B. im Böschungsbereich, im Wesentlichen aber vermeidbaren Gewinnungsverlusten nicht rechtzeitig entgegengewirkt werden kann.

Die Funktionsweise einer Echolotung sowie deren Durchführung ist nachfolgend beschrieben.

Die Mengenermittlung einer Baggerleistung erfolgt i.d.R. anhand von Vor- und Nachaufmaß mittels eines Echolotes. Es erfolgt die Mengenermittlung im Abtrag und entspricht damit den Vorgaben der VOB¹⁹³.

Die Mengenermittlung kann jedoch auch im Auftrag erfolgen, z.B. wenn der Abtragsbereich zwischen den Peilungen bereits resedimentiert und damit die korrekte Mengenberechnung unmöglich wird. Bei diesem Abrechnungsmodus sind Verluste zu berücksichtigen, die beispielsweise

- mit der Entwässerung des Spülfeldes,
- aus Setzungen oder durch Auflockerung

entstehen.

Peilungen können prinzipiell wie folgt ausgeführt werden:

- mittels Meßlatte in sehr flachem Gewässer,
- mittels Handlot standardisiertes Lot,
- mittels Echolot ausgeführt als single oder multibeam Messung.

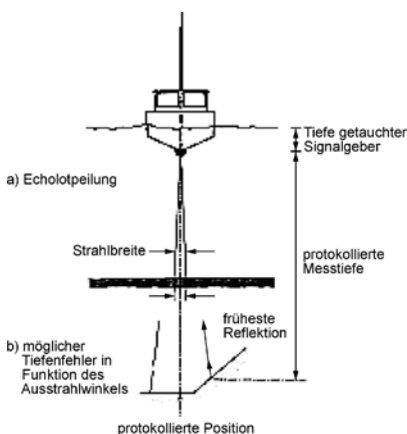


Abb. 5-98 Prinzipielle Anordnung einer Echolotung

Die Positionierung des Echolotes erfolgt mit Hilfe von:

- optischen Methoden oder
- Satellitennavigation per GPS (Abb. 5-99).

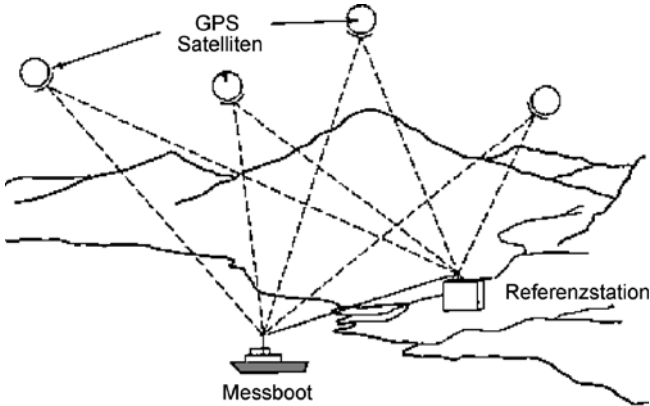


Abb. 5-99 GPS Positionierung

Bei der Ausführung von Echolotpeilungen ist folgendes unbedingt zu beachten, um Fehler bei der Mengenberechnung zu vermeiden:

- sorgfältige Kalibrierung des Echolots, wie in Abb. 5-100 dargestellt ist.

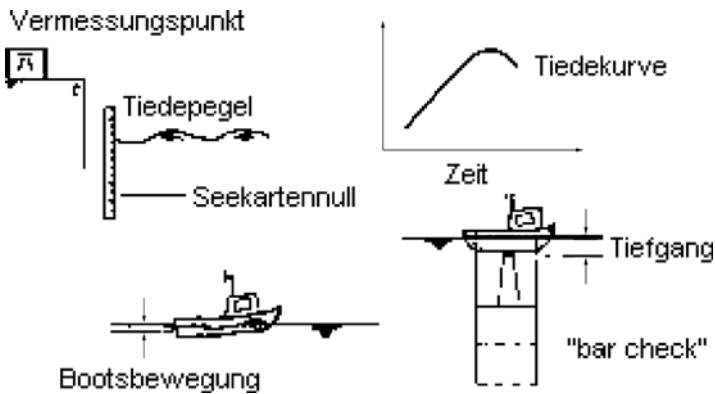


Abb. 5-100 Kalibrierung der Wassertiefe¹⁹⁴

Bei der Auswertung der Peilerggebnisse sind ggf. Einflüsse des Wellenganges („squat“) zu berücksichtigen, wenn das Boot zu klein im Verhältnis zur Wellenlänge ist.

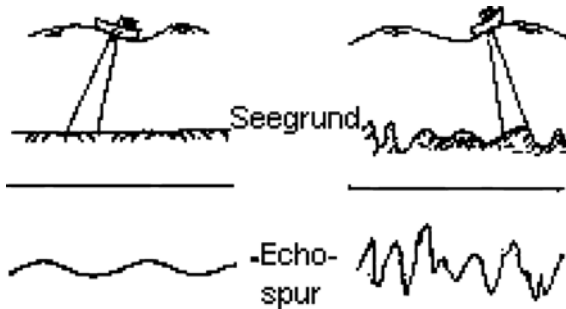


Abb. 5-101 Auswirkungen von Wellen auf Echolotpeilung („squat“)

- Wasserstandsmessungen und sich daraus ggf. ergebende Wasserstandskorrekturen sind kontinuierlich vorzunehmen,

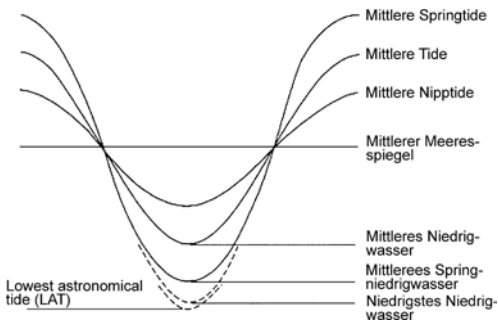


Abb. 5-102 Einfluss von Wasserstandsänderungen (Tide)

- Profildichte

Die Profildichte sollte ausreichend groß sein und eine Überlappung der Echostrahlen eines Profils gewährleisten. I. d. R. sollte der Profilabstand von single beam Messungen nicht mehr als 25 m betragen. Die Profile einer multibeam Peilung sollten überlappend angeordnet sein (Abb. 5-103).

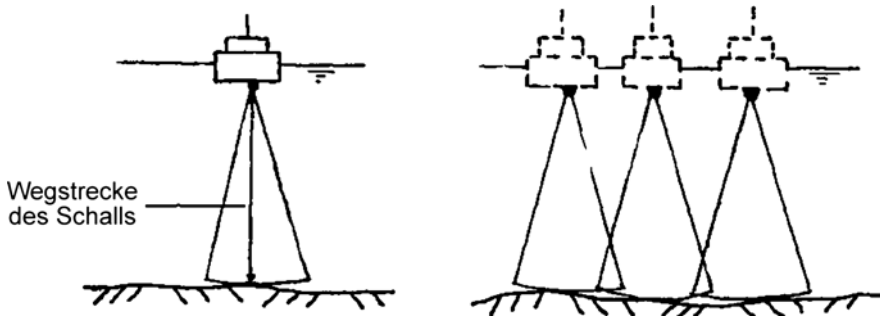


Abb. 5-103 Überlappende Echolotpeilung

Die Profillänge sollte so groß gewählt werden, dass auch jenseits der Böschungsoberkante eine Aussage über die Gewässersohle getroffen werden kann (Abb. 5-104).

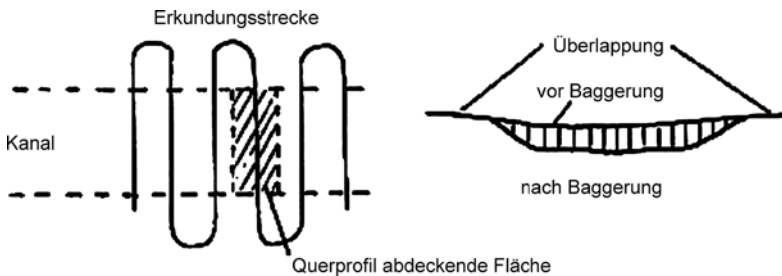


Abb. 5-104 Profillänge

- Peilung von Böschungen
Böschungen sollten in deren Falllinie gepeilt werden.
- Bei Peilung in schluffigen Gebieten oder Bereichen mit höherer Suspensionsfracht kann das Echosignal u.U. nicht die gebaggerte Tiefe bzw. die Gewässersohle darstellen. Das wird an der folgenden Abb. 5-105 deutlich, die Tiefenmessungen mittels
 - 210 kHz Echolot-Peilung,
 - Handlot,
 - in situ Dichte Messung
 vergleichend darstellt.

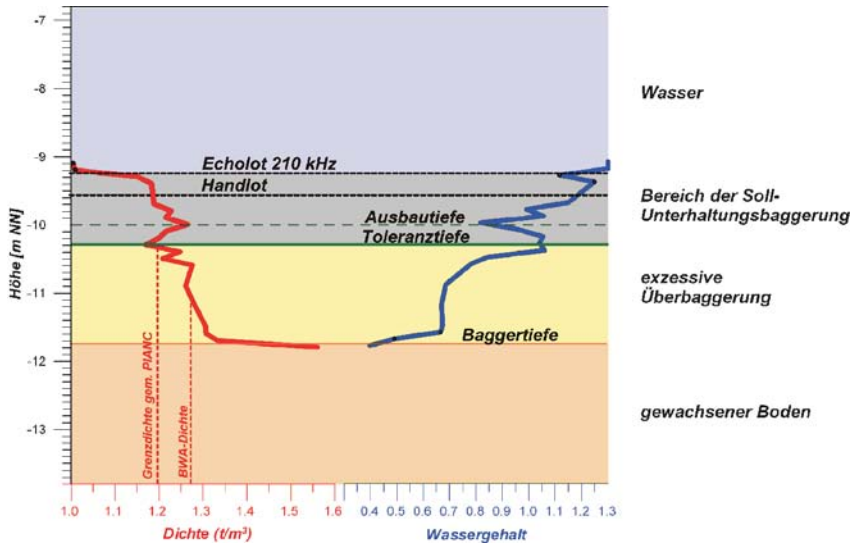


Abb. 5-105 Tiefenbestimmung in Abhängigkeit von der Dichte in Schluff mit verschiedenen Messverfahren

Die Abbildung verdeutlicht, dass

- aufgrund der Echolotpeilung zu einem Zeitpunkt begonnen wurde zu baggern, zu dem keine Notwendigkeit für Unterhaltungsmaßnahmen bestand,
- die Solltiefe um ca. 1,5 über das Toleranzmaß hinaus überbaggert wurde, obwohl dafür kein Bedarf gegeben war.

6 Aufbereitung von Kies und Sand

6.1 Aufbereitungsanlagen

Im folgenden Kapitel werden Aufbereitungsanlagen zur Kiessandaufbereitung für Betonzuschlagstoffe dargestellt.

Die Zahl der verfügbaren Ausrüstungen zur Erlangung einer sehr spezifizierten Aufbereitung ist infolge der Nutzung einer großen Zahl von Wirkprinzipien sehr umfangreich. Die umfassende Beschreibung von Anlagen für weitere im Kapitel 4 vorgestellte Kiessandprodukte, beispielsweise Quarzsande, würde den Rahmen des vorliegenden Buches sprengen. Auf die dazu vorliegende Detailliteratur wird verwiesen.

6.1.1 Zielsetzung

Für die Aufbereitung von Kies und Sand bestehen folgende generelle Forderungen und Zielsetzungen:

- Maximale Nutzung des in der Lagerstätte vorhandenen Materials, einschließlich der Nutzung der groben (Steine, Blöcke) und feinen Mengenteile (Feinsande und Tone).
- Gewährleistung der Qualitätsanforderungen gemäß Regelwerk an alle Produkte in engen Toleranzgrenzen.
- Gewährleistung eines minimalen Ressourcenverbrauchs bzgl. Wasser und Energie aus ökologischen und ökonomischen Gründen.
- Reduzierung der Menge und der Schadstoffbelastung anfallender Abwässer (geschlossene Nutzwasserkreisläufe und Rückführung von Feinpartikeln).
- Gewährleistung einer hohen technischen Zuverlässigkeit und Flexibilität der Aufbereitungsanlagen bei optimaler Gesamtwirtschaftlichkeit.

Diese Forderungen sind insbesondere bei Nutzung qualitativ minderwertiger Vorkommen und bei schwankender Beschaffenheit des Rohstoffes zu beachten. Solche Vorkommen sind heutigentags infolge der konkurrierenden Nutzung höffiger Bereiche und dadurch bedingten man-

gelnder Genehmigungsfähigkeit öfter abzubauen als dies in vergangenen Zeiten als erforderlich erachtet wurde. Beispielsweise wurde am Rhein das obere Kieslager (OKL) wegen des hohen Körnungsanteils nur hälftig abgebaut, d.h. unter dem Kies anstehende Sande mehrerer Meter Mächtigkeit wurden in der Vergangenheit nicht weiter beachtet. Es wäre sicherlich wirtschaftlicher gewesen, beide Schichten des OKL gleichzeitig zu gewinnen anstatt selektiven Abbau vorzunehmen. Infolge nicht verfügbarer neuer Abbaufächen müssen nämlich jetzt die Sande abgebaut werden, um die restlichen Körnungsanteile zu erhalten. Dabei fallen im Überschuss vorhandene, nur mit Verlust zu vermarktende Sande an.

Weiterhin ist die Beachtung der o.a. Zielsetzungen bei der Aufbereitung von Material aus Restlagerstätten von großer Wichtigkeit und stellt technisch besondere Anforderungen an die jeweilige Aufbereitungsanlage. Diesen Fragestellungen muss generell im Sinne einer besseren Ressourcennutzung nachgegangen werden.

Die wirtschaftlich optimale Aufbereitung von Rohstoffen aus solchen Lagestätten minderer Qualität, im Falle von Restlagerstätten z.B. durch Anpassung der Produktpalette, der Siebe oder Zukauf von Körnungen, kann bei der Durchführung konkreter Planungsvorhaben am besten durch Anwendung leistungsfähiger Instrumentarien wie Datenbanken und entsprechender Software gewährleistet werden. Auf solche Systeme soll weiter unten eingegangen werden ¹⁹⁵.

6.1.2 Grundvorgänge

Bei dem Rohstoff Kiessand handelt es sich um ein grob disperses System im Größenbereich von 0 μm bis ca. 200 mm. Im Zuge der Aufbereitung findet eine mehr oder weniger fein verteilte Anhäufung von festen Körnern im Rohstoff zu Schüttgütern oder nach Körnungsgruppen, sog. Fraktionen, sortierten Haufwerken statt.

Die Produkte werden hauptsächlich durch Klassierprozesse hergestellt. Fallweise können Überkorn >56mm und/oder im Überschuss vorhandener Grobfraction 16/32 mittels zusätzlicher Zerkleinerungsprozesse verwertet werden. Diese Lösung hat insbesondere in körnungsarmen Bereichen Norddeutschlands Bedeutung. In sandarmen Vorkommen kann die Zerkleinerung zur Herstellung von Brechsanden führen. Durch Einsatz entsprechender Klassiertechnik des Rohsandes 0/2 kann andererseits auch im Feinkornbereich durch Herstellung von Spezialsanden die Voraussetzung für bessere Vermarktungsmöglichkeiten und damit höheres wirtschaftliches Ergebnis der Abbautätigkeit geschaffen werden.

Die Aufbereitung von Kies und Sand ^{196, 70} umfasst zum Erreichen der oben aufgeführten Ziele im Wesentlichen die verfahrenstechnischen Grundvorgänge

- Trennen – bestehend aus Klassieren, Sortieren, Waschen, Abscheiden, Klauben und Entwässern,
- Zerkleinern - bestehend aus Brechen, Mahlen und Grinden,
- Lagern – bestehend aus Roh- und Fertigproduktlagerung
- Mischen – kontinuierliche oder diskontinuierliche, kontrollierte Zusammensetzung von Einzelfractionen zu Korngemischen.

Trennen bedeutet das Zerlegen des i.d.R. an Land verbrachten Rohstoffes Kiessand mit einem Merkmalwert ξ , z.B. dessen untere und obere Korngröße ξ_u und ξ_o , in mindestens zwei Produkte, z.B. Kies und Sand, mit den Korngrößen ξ'_u und ξ'_o des jeweiligen Produktes.

Der Trennschnitt bzw. die Trennkorngröße ist derjenige Merkmalwert, bei dem $T(\xi) = 0,5$ ist, d.h. die Masseanteile beider Produkte gleich sind. Der Trennerfolg wird anhand der durch Prüfsiebung ermittelten Trennfunktion $T(d)$ beurteilt. Um diese erstellen zu können, ist bei Siebtrennung die Kenntnis der Korngrößenverteilung, bei Dichtesortierung die Dichte von Aufgabegut und Trennprodukt erforderlich.

In der Praxis ist eine ideale Trennung nicht zu erreichen. So enthält jedes Produkt Über- bzw. Unterkorn des jeweils anderen Produktes. Der Gütegrad der Trennung wird durch die sog. Kornstreuung κ ausgedrückt. Dieser „Kappa“-Faktor bezieht sich auf die Trompsche Korngrößenverteilungskurve, die im Bereich zwischen 25 Ma.-% und 75 Ma.-% Siebdurchgang praktisch geradlinig verläuft (Abb. 6-1). Die Trennschärfe ist umso schlechter je mehr κ einen Wert > 1 annimmt.

$$\kappa = \frac{\zeta_{75}}{\zeta_{25}} \quad (6-1)$$

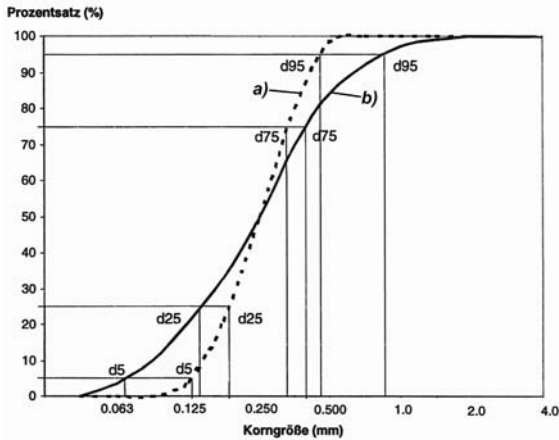


Abb. 6-1 Trompsche Verteilungskurve

In Abb. 6-1 ist das Ergebnis der Trennung von Sand mittels zweier unterschiedlicher Anlagen dargestellt. Die Kornverteilung des mittels Anlage a hergestellten Produktes ist enger gestuft als die mittels Anlage b. Die Anlage a ist als die technisch bessere Lösungsvariante anzusehen.

6.1.3 Anlagenbeispiele

Nachfolgend werden einige Anlagenbeispiele für die Aufbereitung von Kies und Sand verschiedener Lagerstätten dargestellt.

Aufbereitung eines Rohsandess ohne Fraktionierung

Die einfachste Form einer Aufbereitungsanlage besteht in der Herstellung nur eines Produktes, wie z.B. Sand nach Trennen von Unrat oder Einschlüssen, z.B. Wurzeln. Diese Form findet häufig Anwendung im Zuge der Ausrichtungsarbeiten für die Nassgewinnung oder bei Trockenabbauen (Abb. 6-2, links).

Das Trennen erfolgt durch Klassierung mittels Rost oder Sieb. Das Produkt ist der Rost- bzw. Siebdurchgang, ein nicht weiter qualifizierter Sand. Oftmals handelt es sich dabei um die Herstellung von vergleichsweise minderwertigem Füllsand zur Schüttung von Dämmen oder Unterbau von befestigten Flächen. Im Zuge dieser Aufbereitung wird i.d.R. das Material direkt auf die Siebanlage mittels Radlader oder LkW aufgegeben, eine Vorhalde entfällt. Das Fertigprodukt Sand 0/2 wird mittels Förderband aufgehaldet.



Abb. 6-2 Aufbereitung eines Rohsandess ohne Fraktionierung mittels l.: Grobabscheidung aus Sandvorkommen; r.: Kreisschwingsieb über Silo

Bei Vorkommen von Kiessand besteht je nach Lagerstättenausbildung jedoch meist die Möglichkeit, aus dem Rohstoff mehrere qualifizierte, den Normen entsprechende Produkte an Sand und Kies in verschiedenen Fraktionen sowie manchmal auch weiterer Nebenprodukte, wie Ton, herzustellen.

Aufbereitung eines sandarmen Kiesel

In Abb. 6-3 ist das Fließschema einer Aufbereitungsanlage für die Aufbereitung eines mittels Schwimmgreifer gewonnenen sandarmen Kiesel von der Oberelbe dargestellt.

Nach Vorabsiebung mittels festem Rost und Entwässerungssieb an Bord des Baggers wird das Rohmaterial per Förderband zur Aufbereitungsanlage transportiert, wo das weitere Trennen der verschiedenen Fraktionen mittels Siebklassierung und Sandfang erfolgt. Die Zerkleinerung des anfallenden Überkorns erfolgt mittels Prall- und Kugelmühle, die Lagerung der Teil- und Fertigprodukte in Silos und in Halden, die teilweise durch Unterflurabzug abgezogen werden. Das Mischen der Einzelkörnungen, gemäß DIN 4226 die Fraktionen 0/2, 2/8, 8/16 und 16/32, zu Gemischkörnungen findet zentral gesteuert von der Verladung aus statt, wo auch die Verwiegung vorgenommen wird.

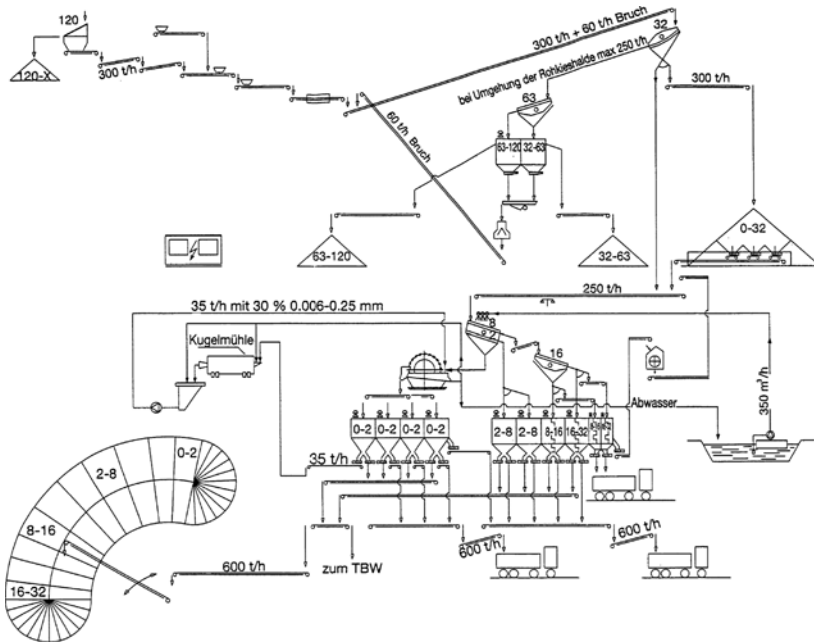


Abb. 6-3 Aufbereitungsanlage für einen sandarmen Kies

Aufbereitung eines bindigen Kiessandes aus Restvorkommen

In Abb. 6-4 ist der Prozessablauf einer Aufbereitungsanlage zur Herstellung von Sanden 0/2 und Gemischtkörnungen 0/32 bzw. 0/45 einschl. Zerkleinerung des Überkorns dargestellt.

Durch den weitgehend nicht abgetrennten bindigen Anteil im Rohstoff kann dieses für die Betonherstellung minderwertige Restvorkommen z.B. beim Sportplatzstättenbau hervorragend eingesetzt werden und so eine quasi vollständige Ressourcennutzung erfolgen.

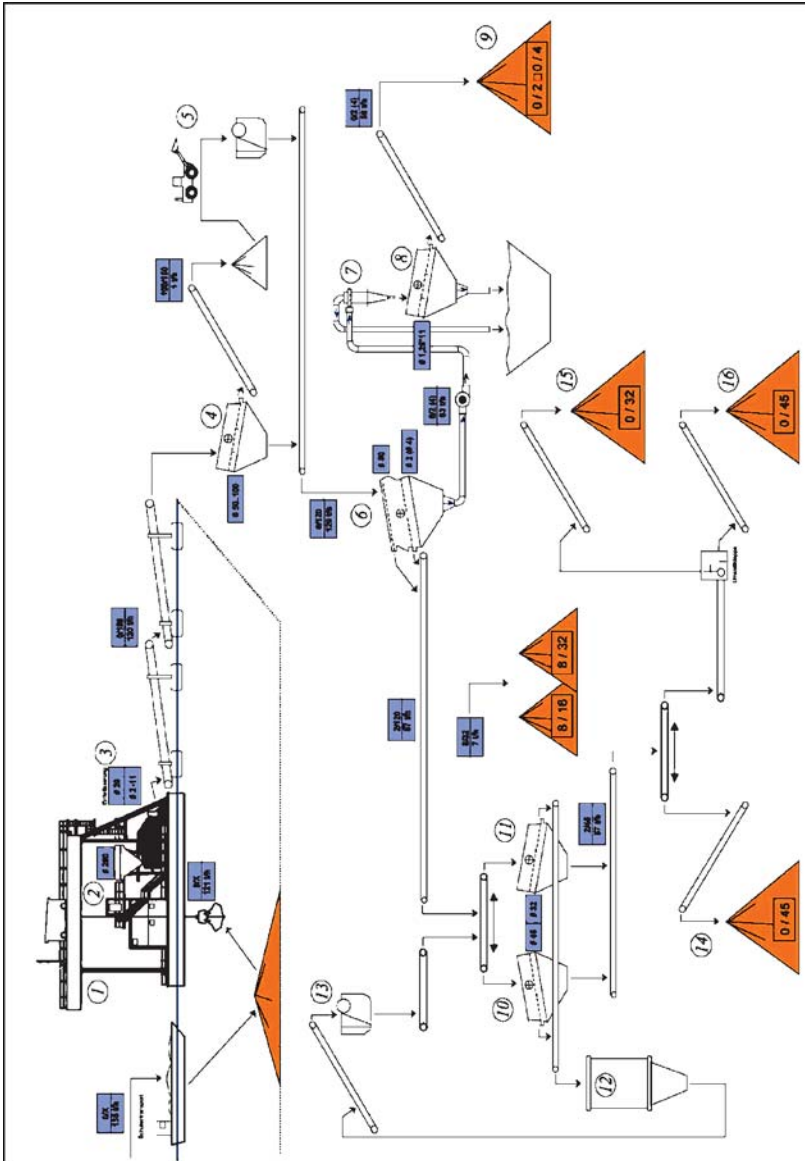


Abb. 6-4 Aufbereitung eines bindigen Kiessandes aus Restvorkommen (1:Seilgreifer, 2:Rost 200 mm, 3: Schwingsieb auf SG, 4:Vorabsiebung (Lehmsieb), 5: Backenbrecher, 6: Schwingsieb Sandanlage, 7: Schlammpumpe/Hydrozyklon, 8: Entwässerungssieb, 9: Sandhalde, 10: Schwingsieb 0/45, 11: Schwingsieb 0/32, 12: Brechersilo, 13: Prallbrecher, 14: Filterkieshalde 0/45, 15: Filterkieshalde 0/32, 16: Filterkieshalde 0/45)

Aufbereitung mit Option für Fraktionierung des Sandanteils

Im Zuge der Herstellung des Produktes Sand kann vor allem bei überschüssigem Vorkommen die Notwendigkeit entstehen, verschieden körnige Sande der Fraktionen 0/0,250, 0,250/0,500, 0,5/1,0 und 1,0/2,0 mit unterschiedlichen Feinanteilen $< 0,250$ zu produzieren.

Die Soll-Körnungslinie und deren Feinanteil ergibt sich z.B. aus der Betonrezeptur des Transportbetonherstellers und wird im Zuge des sog. in line blending, dem kontrollierten Mischen der Einzelkörnungen hergestellt (Abb. 6-5). Gleiches z.B. auch für die Herstellung von Estrich- und Mörtelsanden.

Abb. 6-6 zeigt das Fließschema einer Kiessandaufbereitung für Produktion von Betonzuschlagstoffen. Weiter sieht die Planung eine spätere Ausbaustufe vor, in der Spezialsande nach Fraktionierung des 0/2 wieder kontrolliert zusammengesetzt werden.

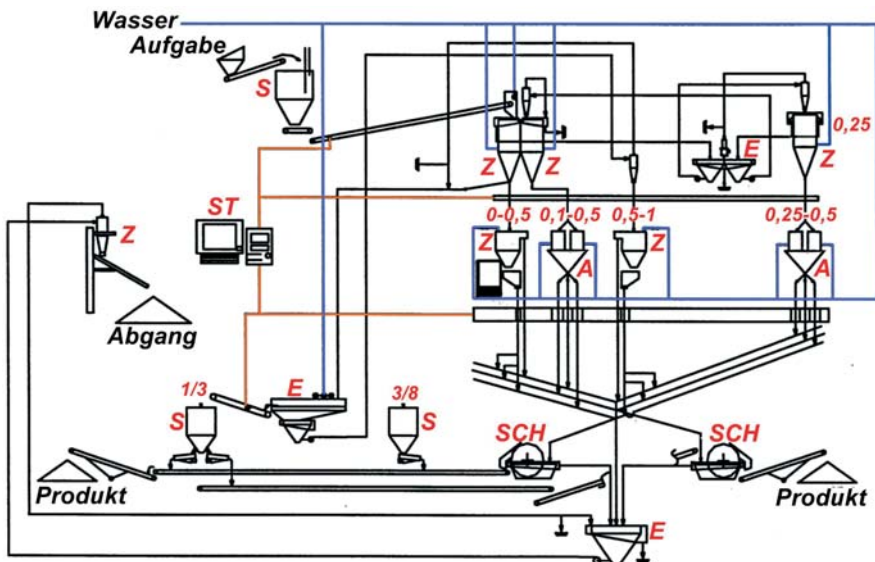


Abb. 6-5 Fließschema einer Aufstromklassierung, Fabr.ACU-TOP^{197, 198} zur Aufbereitung von Kiessand mit Option für Fraktionierung des Sandanteils (S: Silo, E: Eindicker, Z: Zyklon, A: Aufstromklassierer, Sch: Schöpfkrad, ST: Steuerung)

Das Prozesswasser wird in diesem Beispiel als Frischwasser zum Teil aus einem Brunnen und zum anderen Teil aus einem Absetzbecken entnommen, in dem das Nutzwasser gesammelt und nach Klärung der Anlage als Teilstrom des Prozesswassers wieder zugeführt wird.

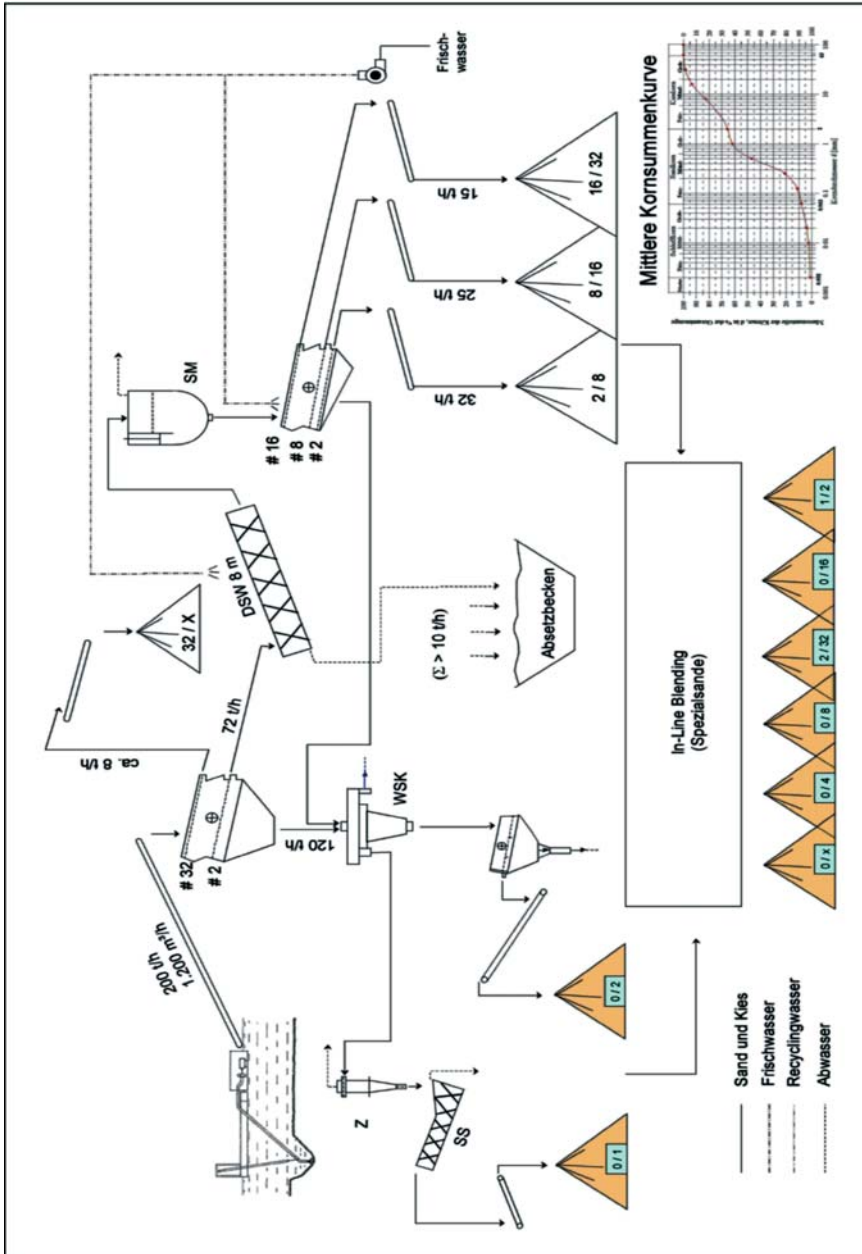


Abb. 6-6 Fließschema Kiessandaufbereitung mit Erweiterungsoption einer Feinsandaufbereitung, (DSW: Doppelschwertwäscher; SM: Dichtesortierung; WSK: Wirbelschichtklassierer; SS: Sandschnecke; Z: Zyklon)

6.1.4 Anlagentypen

Der Prozessablauf einer Aufbereitungsanlage für Kies und Sand besteht i.d.R. aus zwei Aufbereitungssträngen, d.h. dem für die Aufbereitung von Kies 2/x und dem für Sand 0/2 (Abb. 6-7).

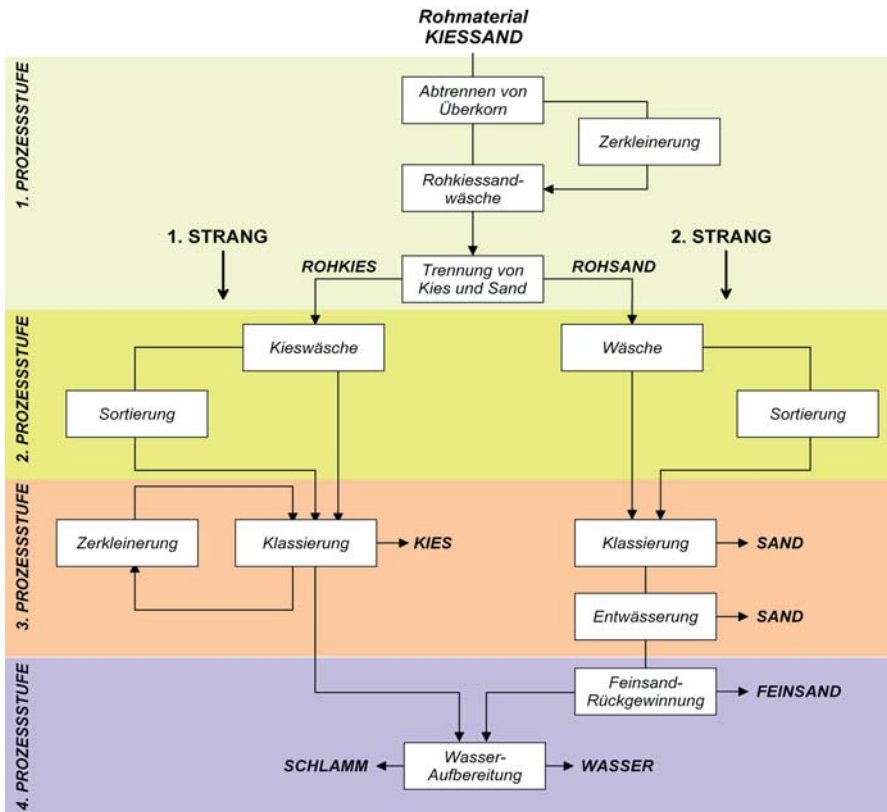


Abb. 6-7 Blockscha der Prozessstränge in der Kiessandaufbereitung

Abb. 6-7 verdeutlicht, dass die Aufbereitung des Rohmaterials i.d.R. ein mehrstufiger Prozess ist, der prinzipiell die oben erwähnten Grundvorgänge Trennen, Zerkleinern, Lagern und Mischen umfasst. Im Zuge der Aufbereitung fallen weitere Neben- und Abfallprodukte an, u.a.

- Tone,
- Feinssande und Schlämmkorn,
- Steine und Blöcke,
- Prozesswasser.

Die Produktion von Zuschlagstoffen für Beton und Mörtel

- muss das geforderte Kornband ergeben, was die Abtrennung (Klassieren) von Überkorn $>32\text{mm}$ und abschlämmbaren Bestandteilen $<63\mu\text{m}$ bedeutet,
- darf keine schädlichen Beimengungen im Wertmineral zulassen, was die Sortierung durch Waschen und Läutern sowie ggf. die Sortierung für jeden Produktionsstrang zur Folge hat und
- soll entwässert gelagert werden.

Nach DIN 1045 ergeben sich die in Abb. 6-8 gezeigten Beispiele von Soll-Körnungslinien, nach denen ein Beton hergestellt werden soll.

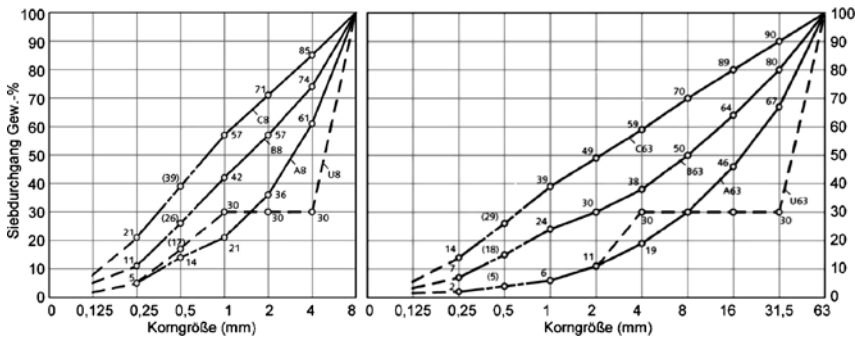


Abb. 6-8 Soll-Körnungslinien gem. DIN 1045 für 8 und 63 mm Größtkorn

Neben der Herstellung der Kornfraktionen ist im Zuge des Betriebs der Aufbereitungsanlage die Wasserwirtschaft von erheblicher wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Trüben dürfen nicht in Gewässer eingeleitet werden. Für die Wasserentnahme fallen Gebühren an, so dass oftmals eine Wasserkreislaufwirtschaft angewandt wird, die jedoch einen erheblichen apparativen Aufwand für die Entwässerung und Filtrierung notwendig macht.

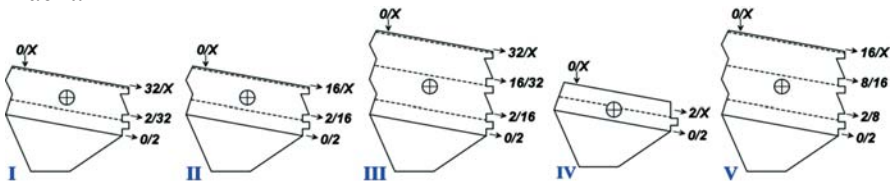


Abb. 6-9 Kiessand Aufbereitungsanlagentypen I – V

Die Trennung der Fraktionen von Kies und Sand wird i.d.R. in der ersten Prozessstufe einer Aufbereitungsanlage vorgenommen. Anhand der Art der ersten Prozessstufe der Aufbereitungsanlage, in der Kies und Sand ge-

trennt werden, lassen sich fünf verschiedene Typen von Aufbereitungsanlagen unterscheiden (Abb. 6-9)¹⁹⁹:

- **Anlagentyp I**
Die erste Klassierstufe ist als 2-Deck-Siebmaschine ausgeführt, in der die Abtrennung von Überkorn, sowie die Trennung von Sand 0/2 und Kies 2/x stattfindet (Abb. 6-2).
- **Anlagentyp II**
Die erste Klassierstufe ist als 2-Deck-Siebmaschine ausgeführt, in der ein Trennschnitt innerhalb der Kiesfraktion 2/x sowie die Trennung von Sand 0/2 stattfindet.
- **Anlagentyp III**
Die erste Klassierstufe ist als 3-Deck-Siebmaschine ausgeführt, in der die Abscheidung von Überkorn, sowie ein Trennschnitt innerhalb der Kiesfraktion 2/x und die Trennung von Sand 0/2 stattfindet.
- **Anlagentyp IV**
Die erste Klassierstufe ist als 1-Deck-Siebmaschine ausgeführt, in der die Trennung von Sand 0/2 und Kies 2/x stattfindet (Abb. 6-3).
- **Anlagentyp V**
Die erste Klassierstufe ist als Mehrdeck-Siebmaschine ausgeführt, in der bis zu drei Trennschnitte innerhalb der Kiesfraktion 2/x und die Abtrennung von Sand stattfinden.

Der Anlagentyp I (Abb. 6-9) soll nachstehend weiter erläutert werden. Die anhand eines Blockschemas (Abb. 6-7) dargestellte Anlage besteht aus 4 Prozessstufen.

- **Prozessstufe 1**
Das mittels Nassbagger (Schwimmgreifer, Grundsaugbagger, Eimerkettenbagger, Schrapper) gewonnene und vorentwässerte Rohmaterial wird entweder direkt zur Aufbereitungsanlage oder mittels Förderband zur Vorhalde der Aufbereitungsanlage transportiert und von dort zur Beschickung der ersten Prozessstufe mittels Förderband weitergeführt. In dieser werden:
 - das Überkorn 32/X,
 - die Kiesfraktion 2/32 sowie
 - die Sandfraktion 0/2
 - abgetrennt.
- **Prozessstufe 2**
Sand- und Kiesfraktion werden in zwei getrennten Strängen aufbereitet.

Kiesstrang

Die Kiesfraktion 2/32 wird zunächst in einem Doppelwellenschwertwäscher vorgewaschen und einem Puffersilo zugeführt, bevor sie ggf. in einem weiteren Doppelwellenschwertwäscher erneut gewaschen und anschließend in einer Setzmaschine von organischen Bestandteilen befreit wird.

Sandstrang

Die Sandfraktion 0/2 aus der ersten Prozessstufe wird zunächst in einer Doppelwellensandschnecke entwässert und auf einer Pufferhalde aufgehaldet.

Bei der Entwässerung wird dem Rohsand ein Großteil des Feinsandes 0/1 mit dem abgetrennten Wasser entzogen. Das entstandene Feinsand/Wassergemisch wird mittels eines Schöpfrades entwässert. Der gewonnene Feinsand wird über Förderbänder in einer Pufferhalde aufgehaldet.

- **Prozessstufe 3**

Kiesstrang

Der gereinigte Kies der Fraktion 2/32 wird in einer 3-Deck-Siebmaschine zu den entsprechenden Produkten der Fraktionen 2/8, 8/16 und 16/32 klassiert und über Förderbänder auf Halden ausgelagert. Das Überkorn wird zerkleinert.

Sandstrang

Der Rohsand 0/2 aus der Pufferhalde wird über Dosierbänder abgezogen und ggf. Schwertrübesortierern zugeführt, wo organische Bestandteile abgetrennt werden.

Der gereinigte Rohsand 0/2 wird weiter klassiert, z.B. mittels Freifallklassierer, in zwei kontrolliert gewonnene Sandfraktionen getrennt, die jeweils durch eine Entwässerungsschnecke entwässert werden. Die beiden gewonnenen Sande werden mittels Austragsbändern aufgehaldet.

- **Prozessstufe 4**

Das Prozesswasser wird aufbereitet und von Suspensionsfracht gereinigt.

6.2 Anlagenausrüstungen

6.2.1 Kennwerte von Ausrüstungen

In den nachfolgenden Kapiteln werden die für den Aufbereitungsprozess von Kies und Sand ausgewählten Maschinen der jeweiligen Ausrüstungsgruppe einer Prozessstufe gemäß erläutert. In Tabelle 6-2 sind die min-max Kriterien von Aufgabegut, der Trennkorngröße und des Durchsatzes für die verschiedenen Ausrüstungen aufgelistet.

Tabelle 6-1 Korngrößen (d), Trennkorngrößen (d_T) und Durchsatz (m) verschiedener Ausrüstungen für die Aufbereitung von Lockergestein (t/h Feststoff)

Gruppe	Ausrüstung	d _{min} [mm]	d _{max} [mm]	d _{T,min} [mm]	d _{T,max} [mm]	m _{min} [t/h]	m _{max} [t/h]
Grob- klassierung mit Rosten	Festrost	50	1200	32	200	1	1500
	Stufenspaltrost	0	1200	32	150	10	1500
	Stangensizer	0	1200	90	150	10	1500
	Vibrosizer	0	900	10	200	10	1000
	Rüttelrost	0	1200	32	200	10	1500
Sieb- klassierung	Kreisschwingsieb	0	900	8	90	10	1000
	Linearschwingsieb	0	900	8	90	10	1200
	Ellipsenschwingsieb	0	900	8	90	10	1000
	Bananensieb	0	500	8	90	10	1000
	Trommelsieb	0	32	10	150	10	300
	Wahrscheinlichkeits- sieb	0	400	8	90	10	250
	Strömungssieb (Bogen- sieb)	0	10	1	4	10	15
Strom- klassierung	Freifallklassierer	0	5	0,125	0,71	65	420
	Mehrkammerklassierer	0	5	0,125	0,71	40	400
	Aufstromklassierer	0	5	0,125	0,71	4	180
	Einkammer- Wirbelschichtklass.	0	5	0,125	0,5	2	155
	Zweikammer- Wirbelschichtklass.	0	5	0,125	0,5	80	700
	Hydrozyklon	0	4	0,125	0,71	3	320
	Schöpfrad	0	4	0,5	2	20	550
	Doppelschöpfrad	0	4	0,5	2	60	200
	Dreifachschöpfrad	0	4	0,5	2	60	200
	Feinsandschöpfrad	0	1	0,5	1	30	200
	Sandfang	0	4	0,5	0,71	15	300
	Sandfang mit Entwäs- serungssieb	0	4	0,5	0,71	15	300
	Feinsandfang	0	2	0,25	0,5	5	50
	Sandschnecke	0	8	0,25	0,5	15	320

Fortsetzung Tabelle 6-1

Sortierung	Setzmaschine (Kies)	2	45	0,25	0,5	35	250
	Setzmaschine (Sand)	0	8	0,25	0,5	25	150
	Setzmaschine (Gesamtkorn)	0	63	0,25	0,5	30	220
	Aquamator	0	63	0,25	0,5	10	180
	Hydrobandabscheider	0	4	0,25	0,5	40	250
	Sortierspirale	0	8	0,25	0,5	20	150
	Hydroherd	0	8	0,25	0,5	5	50
Waschen	Schwertwäscher (Einwellen)	0	100	0,25	0,5	8	200
	Schwertwäscher (Doppelwellen)	0	100	0,25	0,5	40	350
	Waschtrommel	0	300	0,25	0,5	10	900
	Flügelwäscher	0	120	0,25	0,5	60	180
Zerkleinerung	Pendelschwingenbrecher	32	500	4	200	30	500
	Kurbelschwingenbrecher	32	500	4	200	40	1300
	Steilkegelbrecher	32	300	4	200	30	500
	Flachkegelbrecher	32	300	4	200	30	500
	Horizontalprallbrecher	32	500	4	200	45	200
	Vertikalprallbrecher	32	180	4	200	50	500
	Vertikalprallmühle	32	350	4	200	30	500
	Horizontalprallmühle	32	1200	4	200	50	400
	Tongrinder	0	100	0	0,125	50	100
Magnetabscheidung	Plattenmagnet	0	120	0	120		
	Walzenmagnet	0	120	0	120		
Entwässerung	Entwässerungsrinne	0	120	0	0		
	Entwässerungssilo	0	120	0	0		
	Entwässerungshalde	0	120	0	0		
	Entwässerungssieb	0	63	0	0	5	600

6.2.2 Siebklassierung im Schwerekraftfeld

Für die Klassierung der Kiesfraktion 2/x wird i.d.R. die Siebklassierung, für die Klassierung der Sandfraktion 0/2 die weiter unten beschriebene Stromklassierung eingesetzt. Tabelle 6-2 erfasst den Aufbereitungsschritt Klassieren mit den Teilprozessen

- Siebklassieren und
- Stromklassieren.

Tabelle 6-2 Einteilung des Trennvorganges Klassieren

Trennvorgang		Wirkprinzip	Ausführung			Ausführungsbeispiel
			Anwendung	Art	Merkmal	
Siebklassieren	Siebklassieren im Schwerkraftfeld	starre Roste oder Siebe				Rost, Bogensieb
			Rostsiebmaschinen		Siebboden aus beweglichen Rollen, Scheiben, Stangen	
		Schwing-siebmaschinen	Wurfsieb	Siebkasten erregt	Kreisschwingsieb, Exzentrerschwing-sieb, Kreiswuchtschwingsieb	
					Ellipsenschwingsieb	
					Linear-, schubkurbel-, Doppelwucht- oder Resonanzschwingsieb	
					Siebelag erregt	Stösselschwingsieb
						Spannwellensieb
			Plan-schwingsieb	zykloidenartige Bewegung des Siebgutes in der Ebene		
	Stromklassieren	Hydroklassieren im Schwerkraftfeld	Trogklassierer	Turbulenter Querstromklassierer	Mechanisches Klassieren	Schnecke, Schwertwäsche, Rechen
						Klassierkegel, Mehrkammerklassierer, Laderaumsaugbagger
						Hydrosort
		Hydroklassieren im Zentrifugalkraftfeld				Hydrozyklon, Voll-mantelzentrifuge

6.2.2.1 Starre Roste oder Siebe

Die Grobklassierung zur Trennung im Grob- und Mittelkornbereich angewandt, erfolgt meist im Zuge einer Vorabsiebung bei der Nassgewinnung i.d.R. mittels

- festen Rosten (ebenes Spaltsieb,), z.B. zur Trennung von Unrat oder Überkorn bei mechanischer Gewinnung z.B. als Vorabsiebung nach Greiferbaggerung, oder zur Trennung von Kiessand und Feinstmaterial im Zuge der weiteren Aufbereitung,
- festen grobmaschigen Sieben oder über ein
- Bogensieb bei hydraulischer Gewinnung.

Feste Roste

Der Durchsatz von Rosten Q bzw. $\dot{m}$ ergibt sich nach Höffl²⁰⁰ zu

$$Q = Q_{oA} A \quad (6-2)$$

$$\dot{m} = Q_{oA} A \rho_S \quad (6-3)$$

mit

Q_{oA} spezifische Rostbelastung

A Rostfläche

ρ_S Schüttdichte.

Einige Rostbelastungen sind in Tabelle 6-3 aufgelistet.

Tabelle 6-3 Spezifische Rostbelastung ruhender Roste nach Höffl

$Q_{oA} \text{ (m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}\text{)}$	Spaltweite w in mm						
	25	50	75	100	125	150	200
$A_{o\text{eff}} = 0,70 \dots 0,75 A_{oA}$	9	16	22	25	28	31	38
$A_{o\text{eff}} = 0,55 \dots 0,60 A_{oA}$	18	32	44	50	56	62	76

$A_{o\text{eff}}$ = effektive Rostfläche

Unter Berücksichtigung der Spaltweite ergibt sich der Durchsatz für feste Roste zu

$$Q = Q_{oM} w^n A \quad (6-4)$$

$$\dot{m} = Q_{oM} w^n A \rho_S \quad (6-5)$$

mit

Q_{oM} spezifische Rostbelastung je mm Spaltweite [$\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$]

Q_{oM} für nicht klebende trockene Güter: $1,43 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \text{ h]}$

n 0,62 ($n = 0,5 \dots 0,7$ für Schwingroste und -siebe)
 w Spaltweite in mm.

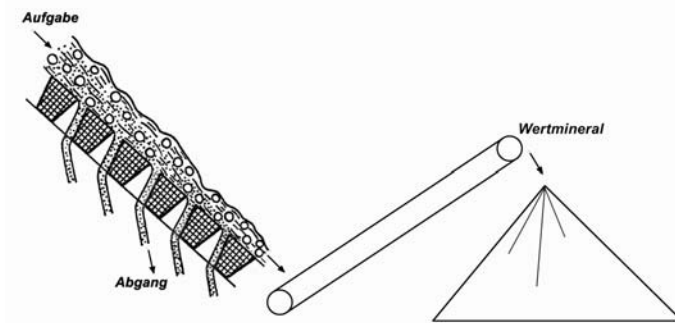


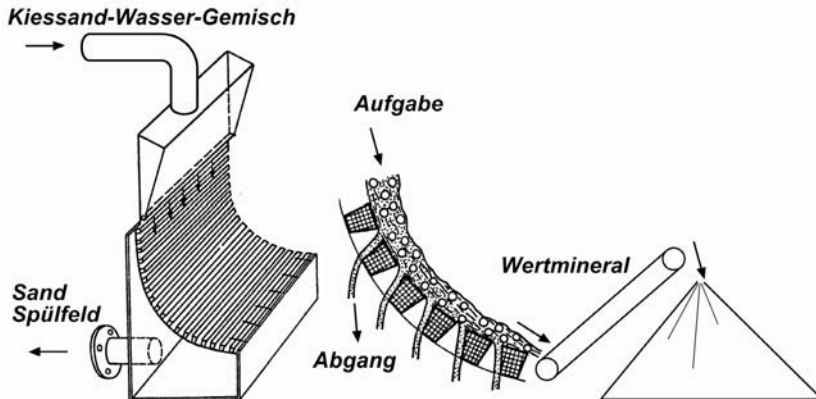
Abb. 6-7 Ebenes Spaltrost zur Trennung von Kiessand und Feinstmaterial nach Schubert²⁰¹

Bogensieb

Das Bogensieb (Abb. 6-8), eigentlich ein Bogenrost, bietet sich bei hydraulischem Feststofftransport an, wenn die den Rohrtransport über größere Entfernungen erschwerende Kiesfraktion ausgehalten werden soll, oder wenn der Rohstoff zuviel Sandanteil enthält, der z.B. nicht vermarktfähig ist und deshalb gar nicht erst in die Aufbereitungsanlage gelangen soll. Das Bogensieb ist ein in der niederländischen Kiessandgewinnung häufig angewandtes wirtschaftliches Verfahren mit Herstellkosten von $< 0,05 \text{ €/t}$.

Der Bodenanteil des Aufgabegutes sollte $< 15 \text{ Vol.-%}$ betragen, was dem Bodenanteil bei Grundsaugbaggerung von Kiessand mit herkömmlichen Gewinnungsgeräten entspricht.

Die Aufgabe des Spülgutes erfolgt über einen quer über das Bogensieb angeordneten Spülkasten. Die Spaltweite der auf einem Kreisbogensegment mit einem Zentriwinkel von ca. 60° und einem Radius von 500 mm bis 1.500 mm angeordneten Keilroststäbe beträgt 0,3 mm bis 1 mm. Die dabei erreichbare Trenngröße beträgt zwischen etwa 100 μm bis 500 μm . Je kleiner die Trenngröße ist, desto höher muss die Geschwindigkeit des Aufgabegutes sein. Die Gefahr einer Verstopfung ist wegen der geringen Gemischdichte des Aufgabespülstromes von 1.200 m^3/h bis 2.000 m^3/h relativ gering. Die Anordnung des Siebbodens auf weichen Schwingelementen kann die Verstopfungsgefahr weiter reduzieren.

Abb. 6-8 Bogensieb nach Schubert ²⁰¹

Der Durchsatz eines Bogensiebes ergibt sich nach Schubert wie folgt:

- Feststoffgehalt der Aufgabetrübe: 10-20 %.
- Auflaufgeschwindigkeit v_A im freien Zufluss:
 - $v_A = 0,5-3 \text{ m/s}$ bei geringer Viskosität,
 - $v_A = 3-8 \text{ m/s}$ bei größerer Viskosität und geringen Spaltweiten.

- Spaltweite für $d_T = 0,2-3 \text{ mm}$:

$$w = (1,1-3) d_T \quad \text{bzw.} \quad w = 1,6 d_T^{0,63}$$

bzw.

$$w = (0,3-1) d_T \quad \text{wobei } d_T \approx 100-500 \mu\text{m}.$$

$$Q = Q_{oA} A \quad (6-6)$$

$$Q = k A_o v_A \quad (6-7)$$

mit

$$k = 140 \dots 200$$

$$A_o = (0,3-0,4) A$$

$$Q_{oA} (v_A) = 200-400$$

Proportionalitätsfaktor

offene Siebfläche

spezifischer Siebdurchsatz.

Der Krümmungsradius R und die Rostbreite B werden nach folgenden Maßstäben dimensioniert:

$$R = 0,5-1,65 \text{ m}$$

$$B = 0,3-1,20 \text{ m}$$

Krümmungsradius

Rostbreite

Rostsiebmaschinen

Rostsiebmaschinen sind Siebmaschinen mit beweglichen Rollen, Scheiben oder Stangen. Sie werden hauptsächlich in der Voraufbereitung eingesetzt, beispielsweise bei der Aufbereitung von Abraum oder bindigem Material aus einer Grundmoräne.

6.2.2.2 Schwingsiebmaschinen

Bei der Siebklassierung ²⁰² erfolgt die Trennung eines Körnerkollektivs nach charakteristischen Längen der Körner mit Hilfe einer Trennfläche, dem Siebboden, in der sich viele geometrisch angenähert gleiche Öffnungen befinden. Körner, die bei ihrer Bewegung über den Siebboden hinweg in einer passenden Lage kleiner als die Öffnungen sind, können diese passieren und ins Feingut gelangen, während die anderen auf dem Siebboden verbleiben und das Grobgut bilden.

Siebmaschinen werden zur Trennung von kiesigem bis sandigem Korn mit $d < 90$ mm eingesetzt. Es ist möglich, mehrere Klassierstufen in einer Siebmaschine zusammenzufassen. Hierzu werden Siebmaschinen in Form von Mehrdeckern verwendet. Dies führt im Vergleich zu Einzelapparaten zu niedrigeren spezifischen Aufbereitungskosten.

Die Siebklassierung kann sowohl trocken als auch nass erfolgen. Bei der nassen Siebklassierung werden oberhalb der Siebdecks Brausen angebracht und Wasser auf das Siebgut gesprüht, sodass das Aufgabegut gewaschen wird. Der Einsatz von Wasser führt zu einer Reduktion der Haftkräfte zwischen den Partikeln, sodass auch feuchte oder klebende Lockergesteine klassiert werden können.

Die Schwingsiebmaschinen zur Siebklassierung im Schwerfeld werden unterschieden in

- Wurfswingsiebmaschinen,
 - Kreisschwingsieb,
 - Linearschwingsieb,
 - Ellipsenschwingsieb,
 - Bananensieb,
 - Wahrscheinlichkeitssieb,
- Planschwingsiebmaschinen sowie
- Wälzsiebmaschinen.

Wurfsiebmaschinen

Wurfswingsiebe werden durch die Wurfkennzahl K_v charakterisiert, durch die die Beschleunigung des Siebgutes auf dem Siebboden bestimmt ist.

$$K_v = \frac{a_{s \max}}{g \cos \beta} \quad (6-8)$$

mit

$a_{s \max}$ max. vertikale Beschleunigung des Siebgutes
 β Neigung des Siebbodens.

Wurfbewegungen werden erwartet, wenn $K_v > 1,5$ ist. Schonende Absiebung erfolgt bei $1,5 > K_v < 2,5$. Bei Absiebung von Mehrkornschichten aus dem Mittel- bis Feinkornbereich müssen wesentlich höhere K_v Werte von bis zu etwa $K_v = 8$ erreicht werden.

Maßgeblich für den Trennerfolg d_T sind insbesondere:

- Transportgeschwindigkeit,
- Sieblänge,
- Neigung,
- Verhältnis Korngröße zu Sieböffnung,
- Auftreffwinkel des Korns auf Siebboden,
- Schichtungsverhältnisse auf Siebboden (Einkornschichtung bei Grob- und Mittelkorn-Trennung; Mehrkornschichtung bei Mittel- und Feinkorntrennung),
- Feuchtigkeitsgrad (bei feinerem Aufgabegut),
- Art der Sieböffnungen

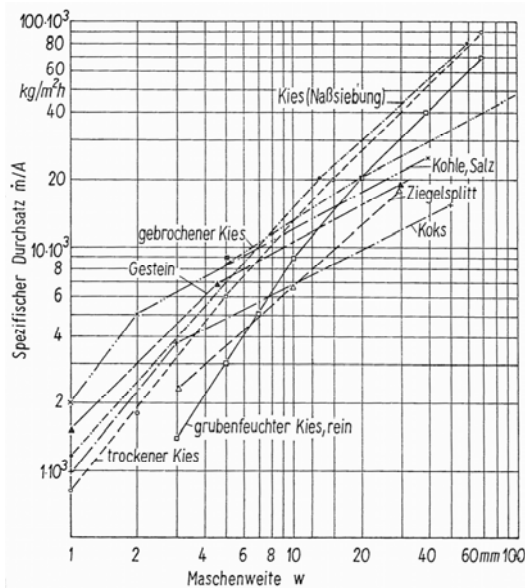
und damit die Verweilzeit des Siebgutes auf dem Sieb. Am schwierigsten gestaltet sich die Absiebung des Grenzkornes, d.h. des Korns mit einer Korngröße im Bereich der Größe der Sieböffnung. Das Grenzkorn wird häufig zu einem den Siebboden zusetzenden Klemmkorn. Die Art der Sieböffnungen - rund, quadratisch, länglich oder spaltförmig - nimmt ebenfalls erheblichen Einfluss auf den Trennerfolg. Es gilt bei gleicher Öffnungsweite w für die Trennkorngröße d_T folgende Abhängigkeit

$$(d_T)_{\text{rund}} < (d_T)_{\text{quadratisch}} < (d_T)_{\text{längförmig}} < (d_T)_{\text{spaltförmig}} \quad (6-9)$$



Abb. 6-10 Kreisschwingsieb

Mit der wohl am häufigsten eingesetzten Art der Wurfsiebe, dem Kreisschwingsieb, lassen sich spezifische Durchsätze gemäß Abb. 6-11 in Abhängigkeit von der Maschenweite für verschiedene Siebgüter erreichen.

Abb. 6-11 Spezifische Durchsätze von Kreisschwingsieben für Siebgüter ²⁰¹

Wälzsiebmaschinen

Wälzsiebmaschinen in der Ausführung als Trommelsiebmaschinen sollen Unrat abtrennen. Sie sind häufig anzutreffen bei der Herstellung von Vorkonzentrat von Schwermineralen nach Eimerkettenbaggerung.

6.2.3 Stromklassieren im Schwerkraftfeld

Bei der Aufbereitung von Sand ist das Hydroklassieren die neben der Siebklassierung am häufigsten angewandte Methode das Stromklassieren.

Das Aeroklassieren (Windsichtung) ist auf die Herstellung von trockenen Feinstkörnungen beschränkt.

Bei der Abtrennung von sandigem Korn ($d < 2 \text{ mm}$) mittels Stromklassierung werden für die Korngrößentrennung die unterschiedlichen Geschwindigkeiten bzw. Bewegungsbahnen ausgenutzt, welche die Körner im Fluid unter der Wirkung verschiedener Kräfte, im Wesentlichen der Schwerkraft, erreichen. Da die Klassierung im Fluid stattfindet, ist diese von einer Sortierung nach der Dichte überlagert.

Der Einsatz der Wirbelschichttechnik für die Trennung von mineralischen Feststoffen und Wasser geht auf Fahrenwald zurück. Trawinski²⁰³ stellt die Grundlagen der Klassierung und Sortierung mit Hilfe von Aufstromwasser für die Mineralaufbereitung dar.

Bei der Hydroklassierung unter Schwerkraft können drei unterschiedliche Trennungsmodelle aufgrund von verschiedenen Wirkprinzipien (Abb. 6-10) unterschieden werden:

- mechanische Klassierer,
- laminare oder turbulente Querstromklassierung,
- Gegenstromklassierung,
- Aufstromklassierer.

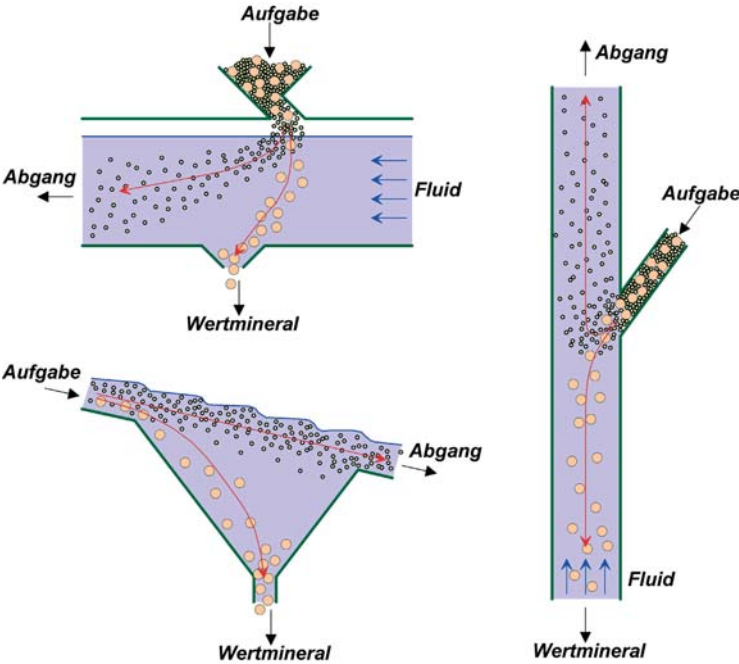


Abb. 6-12 Wirkprinzipien bei Hydroklassierung nach Schubert (Querstromklassierung laminar, turbulent, Gegenstromklassierung)

Bei der Stromklassierung hängt die Trennkorngröße d_T von der Reynoldszahl Re_d , d.h. von der Art der Umströmung des Korn mit dem Durchmesser d , ab. Man unterscheidet drei Umströmungsbereiche wie in Tabelle 6-4 aufgeführt.

Tabelle 6-4 Umströmung eines Korns beim Sinken in Abhängigkeit vom Sinkvorgang

Bereich	Umströmung	Reynoldszahl, Re_d	Zeitpunkt des Sinkvorganges
Stokes-Bereich	Laminar	$< 0,25$	Beginn Sinken
Übergangsbereich	Zäh turbulent	$0,25 < Re_d < 2 \cdot 10^3$	Beschleunigungsphase
Newton-Bereich	Voll turbulent	$10^3 < Re_d < 2 \cdot 10^5$	Stationäres Sinken

Bei der Stromklassierung wird unterschieden in

- Trogklassierung (turbulente Querstromklassierung),
- Rechen (Abb. 6-13),
- Schnecke (Abb. 6-13),
- Schwertwäsche (Abb. 6-14),
- Freifallklassierung (turbulente oder laminare Querstromklassierung),

- Klassierkegel,
- Mehrkammerklassierer (Abb. 6-15),
- Laderaum,
- Spülfeld,
- Aufstromklassierung (Gegenstromklassierungsmodell).

6.2.3.1 Trogklassierer

Zu den mechanisch im Strom trennenden Trogklassierern gehören der Rechen, die Sandschnecke (Abb. 6-13) und die Schwertwäsche (Abb. 6-14). Der Trog ist rechteckig oder gerundet ausgebildet. Bei den Trogklassierern bestimmt²⁰⁰:

- die Breite den erreichbaren Durchsatz, der unter gegebener Neigung und Wehrhöhe des Troges dessen Breite direkt proportional ist.
- die Troglänge den Entwässerungsgrad des Aufgabegutes. Die Länge des Troges sollte ca. 2m über den Flüssigkeitsspiegel hinausragen, um einen Wassergehalt von $< 25\%$ im Austragsgut zu erreichen.
- der Neigungswinkel des Troges das Trübevolumen im Trog.

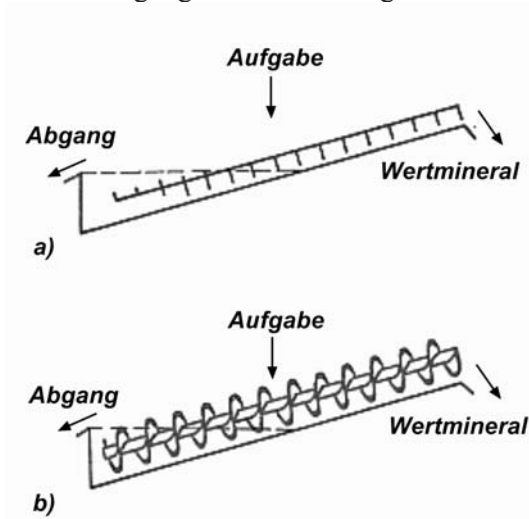


Abb. 6-13 Prinzipskizzen von Trogklassierern (a: Rechen b: Schnecke)

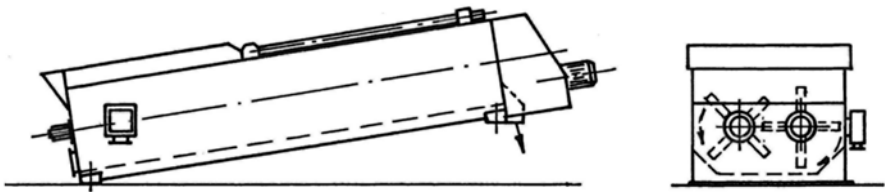


Abb. 6-14 Prinzipskizze Doppelwellenschwertwäsche ¹⁹⁶

Je nach Durchsatz werden mehrere Rechen, Schnecken oder Schwertwellen parallel angeordnet. Einige Kenndaten ausgewählter Trogklassierer sind in der Tabelle 6-5 aufgelistet.

Tabelle 6-5 Kenndaten ausgewählter Trogklassierer nach Schubert und Höffl

Typ	Breite [m]	Länge [m]	Neigungswinkel [°]	Trennkorngröße [µm]	Hubzahl Drehzahl [1/min]	Diffusionskoeffizient Di [m²/s]
Rechenklassierer	6 – 7,5	< 15	13 – 15	590	23 – 32	0,004 -0,01
			9,5 – 11	74	9 – 14	
Schnecke	6 – 7,5	10 - 15	14 – 18	< 100	15 – 40	0,0005 – 0,0025

6.2.3.2 Mehrkammerklassierer

Der Mehrkammerklassierer ist ein in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts in den USA entwickelter Apparat ²⁰⁴, der insbesondere zur Aufbereitung von Sanden, bei dem durch Hintereinanderschalten mehrerer Klassierräume Fraktionen unterschiedlicher Feinheiten durch Steuerung der Querströmung erzeugt werden können. Zu frühes Absinken von Körnung in den ersten Klassiertanks wird durch eine Aufströmung verhindert.

Der Mehrkammerklassierer (Abb. 6-15) erlaubt die Sand-Fraktion 0/2 auf einfache Weise weiter zu trennen und innerhalb der Normvorschriften hoch qualifizierte Sande nach Kundenanforderung herzustellen. Damit kann erheblicher Einfluss auf die Vermarktung ansonsten überschüssiger Sande sowie auf den Zementverbrauch bei der Betonherstellung genommen werden. Die obere Korngröße des Aufgabegutes sollte 4 mm nicht überschreiten.

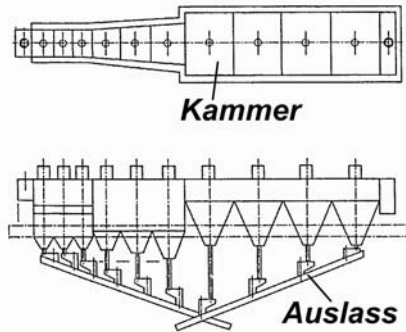


Abb. 6-15 Prinzipskizze Mehrkammerklassierer ¹⁹⁷

Bei Einsatz von Mehrkammerklassierern lassen sich Trennkorngrößen von $50\mu\text{m}$ bis $150\mu\text{m}$ erreichen und mit einem κ -Faktor von 1,5 bis 3,0 kann ein befriedigendes Trennergebnis ausgewiesen werden. Der Trennerfolg ist nicht so gut wie beim Trockensieben. Vielmehr wird mit dem Freifallklassierer eine Trennung von Sandfraktionen eines mehr gespreizten Kornbandes erreicht.

6.2.3.3 Laderaum-, Spülfeldklassierung

Im Zuge der Einspülung in ein Spülfeld oder der Beladung des Laderaums eines Laderaumsaugbaggers zwecks Sandgewinnung beispielsweise findet dort eine turbulente Querstromklassierung des Boden-Wasser-Gemisches statt. Der Spülstrom füllt das Spülfeld bzw. den Laderaum (Klassierraum), die Körner sedimentieren entsprechend ihren Sinkgeschwindigkeiten. In den Überlauf gelangen einerseits die Körner, deren Sinkgeschwindigkeit so klein ist, dass sich das Korn nicht absetzen kann. Andererseits können auch größere Körner zum Überlauf infolge zu großer Strömungsgeschwindigkeit im Laderaum gelangen (Abb. 5-16).

Bei bindigen Böden spielen darüber hinaus die oben erwähnte Art des Tonminerals sowie die Umgebungsbedingungen des Spülstromes (Salzgehalt und Temperatur) eine erhebliche Rolle hinsichtlich des Absetzverhaltens.

Spülfeldklassierung ist ein geeignetes Verfahren, um bindige Böden aus dem Sand abzutrennen. Am Spülkopf lagert sich das grobe Material ab, das feinere in größerer Entfernung vom Spülkopf. Oftmals stellen sich unterschiedliche Böschungsneigungen ein, z.B. H:L ca. $> 1:10$ wenige Meter hinter dem Spülkopf, H:L $< 1:40$ im Bereich von ca. 20 – 50 m hinter dem Spülkopf sowie anschließend eine Böschung mit H:L $< 1:200$. Vor dem Spülwasserauslauf sammelt sich Ton und Schluff $< 63\mu\text{m}$

6.2.3.4 Aufstromklassierer

Aufstromklassierer (Abb. 6-16) eignen sich zur Klassierung der Sandfraktion im Korngrößenbereich $< 4 \text{ mm}$. Kornanreicherungen im unteren Teil des Klassierers werden durch besondere Formgebung vermieden. Die erreichbare Trennschärfe ist deutlich besser als bei Querstromklassierern.

Die mit Aufstromklassierern meistens hergestellten Trennschnitte liegen bei $100 \mu\text{m}$, $250 \mu\text{m}$ und $500 \mu\text{m}$. Mehrere Trennschnitte können durch Hintereinanderschalten von Aufstromklassierern erreicht werden.

Die Kombination von Zyklon und Aufstromklassierer wird in der Sandaufbereitung zur Herstellung eines fraktionierten Sandes häufig angewandt.

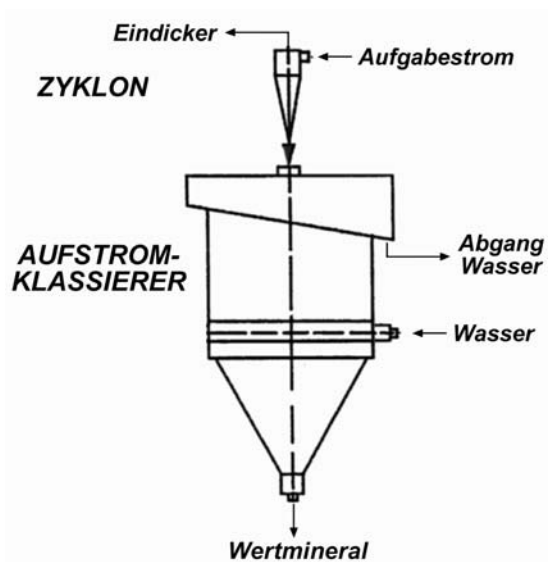


Abb. 6-16 Prinzipskizze Aufstromklassierer ²⁰⁵

6.2.4 Stromklassieren im Zentrifugalkraftfeld

Stromklassierung unter Einfluss der Zentrifugalkraft wird zur Trennung von Feinkorn $< 100 \mu\text{m}$ angewandt. Man unterscheidet Zentrifugalklassierer

- mit feststehendem Gehäuse (Hydrozyklone),
- mit drehendem Gehäuse (Dekanter).

Letztere werden hauptsächlich zur Entwässerung eingesetzt, seltener zur Klassierung.

6.2.4.1 Hydrozyklon

Beim Hydrozyklon wird die unter Druck p_i aufgegebene Einlaufströmung zu einer abwärts gerichteten Umlaufströmung gezwungen (Abb. 6-15). Der Suspensionsdurchsatz Q eines Hydrozyklons ergibt sich zu

$$Q = 1000 D_i D_o \sqrt{\frac{p_i}{\rho'_F}} \quad (6-10)$$

mit

D_i	Durchmesser _{Unterlauf}
D_o	Durchmesser _{Überlauf}
p_i	Eingangsdruck
ρ'_F	Feuchtdichte.

Der Trübedurchsatz ist abhängig vom äquivalenten Einlaufdüsendurchmesser, von der Suspensionsdichte, vom Aufgabedruck und von der Zyklongeometrie²⁰⁶.

Die Trennkorngröße für Zykclone wird unter Berücksichtigung des Durchmessers ($D = 15-1.400 \text{ mm}$), einem mittleren Korndurchmesser ($< 200 \text{ }\mu\text{m}$) und Konzentration in der Aufgabe ($\phi_p = 0,1 \text{ \% bis } 0,4 \text{ \%}$) sowie einem Konuswinkel von 20° bestimmt. Bei Verwendung des Hydrozyklons zum Entwässern werden Konuswinkel von 10° angewandt.

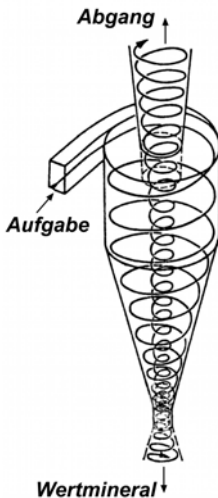


Abb. 6-17 Wirbelströmung im Zyklon (Korndurchmesser Wertmineral: $> 63 \mu\text{m}$)

6.2.4.2 Dekanter

Vollmantelzentrifugen werden in folgenden Bauarten hergestellt:

- Röhrenzentrifugen, die Trennung findet in einem senkrecht aufgestellten, sich drehenden Rohr statt. Das Feingut wird am oberen Rohrende ausgetragen, das Grobgut am unteren,
- Schälzentrifuge, das Grobgut wird durch ein Schälmesser von der Wand der Zentrifugentrommel abgeschält und ausgetragen,
- Tellerzentrifuge, das Aufgabegut wird auf einer drehenden Scheibe sortiert,
- Dekanter (Schneckenaustragszentrifuge), das Aufgabegut (Suspension) wird über eine sich drehende Welle, an der Schneckenelemente befestigt sind, aufgegeben. Der Grobanteil wird aufgrund der Drehzahldifferenz von Welle und Mantel ausgetragen. Der Mantel ist entweder konisch oder zylindrisch ausgeführt, woraus sich Auswirkungen auf die Klärung ergeben. Beim konischen Mantel ist die Klärung wegen kürzerer Verweilzeit schlechter.

Von den vorstehend aufgeführten Zentrifugen wird der Dekanter (Abb. 6-18) hin und wieder zur Prozesswasseraufbereitung eingesetzt.

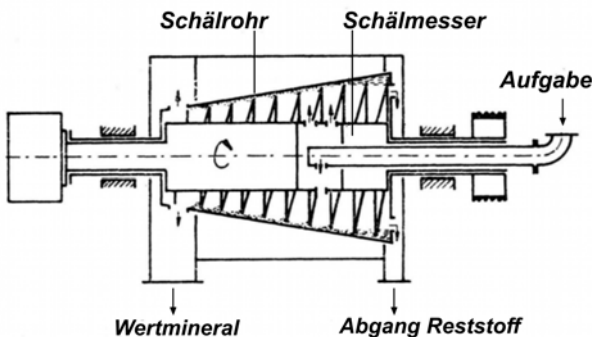


Abb. 6-18 Dekanter (konische Vollmantelzentrifuge)

6.2.5 Sortierung

Nach der Klassierung schließt sich die Sortierung an (Tabelle 6-4). Dabei handelt es sich um die Prozesse

- Sortieren,
 - nach Dichte,
 - durch Setzen im Schwerekräftfeld,
 - in Rinnen,
- Waschen und Läutern,
- Klauben,
- Entwässerung.

Tabelle 6-4 Trennvorgang Sortieren

Trennvorgang		Wirkprinzip	Ausführung		Ausführungs- beispiel
Gruppe	Untergruppe		Anwen- dung	Art	
Sortieren	Dichtesortieren	Abscheidung von Schadstoff in einem Trennmedium, dessen Dichte zwischen der des Nutz- und Schadstoffes liegt	Schwimm-Sink-Sortierung		Schwertrübescheider
	Sortierung durch Setzen im Schwerekräftfeld				Herd
	Sortierung in Rinnen	Sortierung im stationär strömenden Fluid			Gerinne
			Sortierung auf Herden	Sortierung auf gleichsinnig bewegten Herden	Aquamator
				Sortierung auf schwingenden Herden	Setzmaschine
	Klauben	manuelles Trennen nach best. Merkmalen des Aufgabegutes			Klaubeband
		optisch-mechanisch	Sortierung bei Abwurf von Förderband	Sortierung nach Farbunterschieden	Druckluftejektor

Ziel der Sortierung ist es, ein disperses Aufgabegut, das Partikel mit verschiedenen stofflichen Merkmalen enthält, apparativ so zu trennen, dass

alle Teilchen mit dem gleichen stofflichen Merkmal in einen Stoffstrom gelangen. Solche stofflichen Parameter sind:

- Dichte im Schwerkraftfeld,
- Elektrische Leitfähigkeit,
- Magnetische Suszeptibilität,
- Dielektrizitätskonstante.

Im Rahmen der Aufbereitung von Kies und Sand erfolgt durch die Sortierung die Abtrennung von Verunreinigungen wie Kohle oder humöse Stoffe nach der Dichte. Die anderen vorstehenden Verfahren werden in der Kiessandaufbereitung kaum angewandt.

6.2.5.1 Dichtesortierung

Mittels der Dichtesortierung erfolgt das Abscheiden organischer Substanzen, abschlämmbarer Bestandteile oder sonstigen Leichtgutes sowie von alkalireaktivem Flint oder Opal, ggf. auch Pyrit.

Bei der Sortierung nach der Dichte wird das aus verschiedenen Stoffen unterschiedlicher Dichte bestehende Aufgabegut getrennt, u.zw. im Zuge einer

- Schwimm-Sink-Sortierung,
- Sortierung durch Setzen auf festen Herden,
- Sortierung in Rinnen und auf Herden.

Das Aufgabegut wird dabei einem Trennmedium, d.h. der Trübe, aufgegeben, deren Dichte zwischen derjenigen der zu unterscheidenden stofflichen Teilgüter liegt. Das leichtere Material schwimmt, das schwerere sinkt ab. Die Schwertrübe besteht aus einem Fluid mit Ferrosilizium und Magnetit. Die Schwerstoffe können relativ leicht wieder rückgewonnen werden. Es werden Dichten von $\rho = 3,2$ bis $3,4 \text{ kg/cm}^3$ erreicht.

Für die Kies- und die Sandfraktion werden bei der Dichtesortierung unterschiedliche Apparate verwendet, weswegen vor einer Dichtesortierung die Trennung von Kies und Sand vorzunehmen ist.

Für die Dichtesortierung der Kiesfraktion werden folgende Apparate eingesetzt:

- Setzmaschinen,
- Aquamatoren (Abb. 6-19).

Zur Dichtesortierung der Sandfraktion werden die folgenden Apparate verwendet:

- Hydrobandabscheider,

- Wirbelschichtsortierer,
- Sortierspirale.



Abb. 6-19 Aquamator

6.2.6 Waschen

In Rohkiesen sind häufig an größerem, festem Korn haftende Verunreinigungen bindigen Materials oder auch Agglomerate von abschlammmbaren Bestandteilen vorhanden. Diese müssen durch eine Wäsche aus dem Rohkies entfernt werden²⁰⁷.



Abb. 6-20 Bebrausung des Siebbodens eines Schwingsiebes

Unter dem Begriff der Wäsche (Läutern) versteht man eine selektive Trennung, bei der Agglomerate zerstört und Überzüge von abschlämmbaren Bestandteilen aufgelöst werden. Es handelt sich also um die Dispergierung der Feinststoffe im Wasser.

Im Zuge des Waschens des Rohstoffes findet auch eine Dichtesortierung statt. Durch Wälzen und Reiben wird das zu waschende Gut einer Scherbeanspruchung unterzogen. Bei karbonatisiertem Material beispielsweise müssen u.U. dazu noch Schlag- und/oder Schneidkräfte aufgebracht werden.

Wenn der Massenanteil der abschlämmbaren Bestandteile bestimmte Grenzwerte nicht übersteigt, können Aquamatoren neben der Dichtesortierung auch zur Wäsche eingesetzt werden.

Wenn Ton in Form fester Agglomerate vorliegt, kann es notwendig sein, diese vor der eigentlichen Wäsche mittels beweglicher Roste, eines sog. Tongrinders, zunächst zu zerkleinern.

Das Waschen findet nach der Klassierung in die Fraktionen Kies mit der Korngröße $2/x$ und Sand mit der Korngröße $0/2$ statt. Die einfachste Anwendung der Wäsche ist die Siebbebrausung (Abb. 6-20).

Es sind folgende Ausrüstungen und Maschinen zu unterscheiden:

Für die Kiesfraktion $2/x$

- Schwertwäsche,
- Trommelwäsche,
- Vibrationsschwingwäsche mit Besprühung,
- Aquamator,
- Paddelwaschmaschine,
- Waschpulsator.

Für die Sandfraktion $0/2$:

- Sandschnecke,
- Trommelwäsche,
- Trogwäsche.

Das auszuwählende Waschprinzip wird im Wesentlichen bestimmt durch die

- Menge der Verunreinigung und Art der Agglomeration,
- Kornform und Korngrößenverteilung von Nutz- und Schadstoff,
- Größe und Festigkeit der Agglomeration.

6.2.6.1 *Schwertwäsche*

Schwertwäschen, gebaut als Einwellen- oder Doppelwellenschwertwäscher (Abb. 6-21), eignen sich besonders zur Deglomeration bindiger und insbesondere verfestigter rolliger Bestandteile im Aufgabegut. Die Korngröße des Aufgabegutes ist auf ca. 70 mm begrenzt. Der Feinanteil < 4 mm sollte 20 % nicht übersteigen. Ein höherer Anteil würde den Verschleiß insbesondere an den Schwertern erheblich erhöhen und den Erfolg des Waschvorgangs negativ beeinflussen.



Abb. 6-21 Doppelwellenschwertwäsche

6.2.6.2 *Trommelwäsche*

Trommelwäschen eignen sich besonders zum Auswaschen von Leichtbestandteilen wie Torf oder Holz. Der Wasserbedarf beträgt zwischen 1-2 m³/h bei Durchsätzen von bis zu 120 m³/h.

6.2.7 Klauben

Das Klauben ist die ursprünglich im Erzbergbau angewandte Methode, um Erze von taubem Nebengestein zu trennen.

Das manuelle Klauben wird heute in der Kies- und Sandaufbereitung nicht mehr angewandt. Eine der letzten noch in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts in Schleswig-Holstein stattgefundenen Anwendungen war das Klauben von Flint (SiO₂) von einem Klaubeband, aus dem nach Brennen in Schächtföfen und anschließendem Zerkleinern ein Split mit dem Namen Luxovit hergestellt wurde, der als Zuschlagstoff zur Aufhellung bituminöser Fahrbahndecken diente²⁰⁸.

Mechanisierteres Klauben findet heute gelegentlich Anwendung im Zuge einer optisch-mechanischen Trennung, beispielsweise in Sachsen-Anhalt. Dabei werden farbige Anteile des Aufgabegutes, dort Raseneisenanteile, von einer Kamera erkannt und durch einen Luftstoß ausgetragen.

6.2.8 Lösen

Unter Lösen versteht man die Verteilung eines festen Stoffes in einer Flüssigkeit. Voraussetzung für das Lösen ist die Löslichkeit des Feststoffs in der Flüssigkeit. Bei der Aufbereitung von Kies und Sand werden im Rohkies enthaltene wasserlösliche Stoffe wie Halogenide (z.B. Chloride) und Nitrate bei der nassen Siebung, der Stromklassierung, der Dichtesortierung und der Wäsche aus dem Rohkies gelöst. Die gelösten Salze werden mit dem Abwasser der jeweiligen Prozessstufe der Wasseraufbereitung zugeführt.

Für das Lösen als Prozessstufe werden bei der Aufbereitung somit keine speziellen Apparate verwendet.

6.3 Weitere Aufbereitungsprozesse

6.3.1 Feinsandrückgewinnung

Bei der Feinsandrückgewinnung werden Feinsandbestandteile ($63\text{ }\mu\text{m} < d < 100\text{ }\mu\text{m}$) und z. T. auch abschlämmbare Bestandteile ($d < 63\text{ }\mu\text{m}$) durch Stromklassierung aus dem Prozesswasser abgeschieden. Hierfür werden weitestgehend Hydrozyklone und Sandfänge (Abb. 6-22) oder Feinsandschöpffräder verwendet.

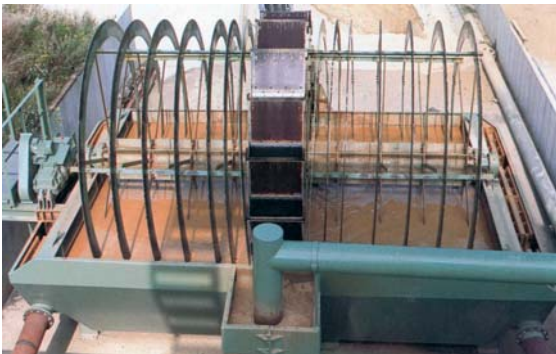


Abb. 6-22 Sandfang mit integriertem Schöpfgrad zur Entwässerung von Sand 0/1

Der Einsatz von Feinsandschöpfrädern ermöglicht es, schon bei der Feinsandrückgewinnung aus einem Teil des anfallenden Wasserstroms einen Recycling-Wasserstrom zu erzeugen, der direkt, ohne weitere Aufbereitung für die Bebrausung der ersten Klassierstufe einer Aufbereitungsanlage verwendet werden kann. Der gewonnene Feinsand kann als Produkt verkauft, oder anderen Produkten zugemischt werden.

6.3.2 Entwässerung

Um aufbereitete Rohstoffe und Produkte problemlos transportieren, weiterverarbeiten und lagern zu können, darf ein zulässiger Wassergehalt nicht überschritten werden. Die Entwässerung kann unterteilt werden wie in Tabelle 6-5 aufgelistet. Sie erfolgt unter

- Schwerkraft oder
- Zentrifugalkraft.

Tabelle 6-5 Einteilung des Trennvorganges Entwässern

Trennvorgang		Wirkprinzip	Ausführungsbeispiel
Entwässern	Sedimentieren	Schwerkraft	Schöpfrad, Kläreindicker
		Zentrifugalkraft	Hydrozyklon, Vollmantelzentrifuge
	Filtrieren	Schwerkraft	Spülfeld, Silo, Entwässerungssieb
		Zentrifugalkraft	Dekanter

Das Trennen von Feststoff und Flüssigkeit von bei Gewinnung und Förderung anfallendem Wasser erfolgt beim Abbau von Kies und Sand als Vorentwässerung meist außerhalb der eigentlichen Aufbereitungsanlage durch Schöpfrad (Abb. 6-23) oder Entwässerungssieb.

Eine Nachentwässerung des Rohstoffes erfolgt auf der Vorhalde bzw. der Produkte im Silo bzw. auf den Produkthalden.

Bei dieser Art der Vor- und Nachentwässerung handelt es sich um eine Schwerkraftentwässerung.

Der gewonnene Kiessand muss einerseits per Band förderbar werden und sollte deswegen Wassergehalte von mehr als 15 Ma.-% nicht enthalten. Andererseits bedeutet der Transport von Wasser hohe Kosten, die zu vermeiden sind.

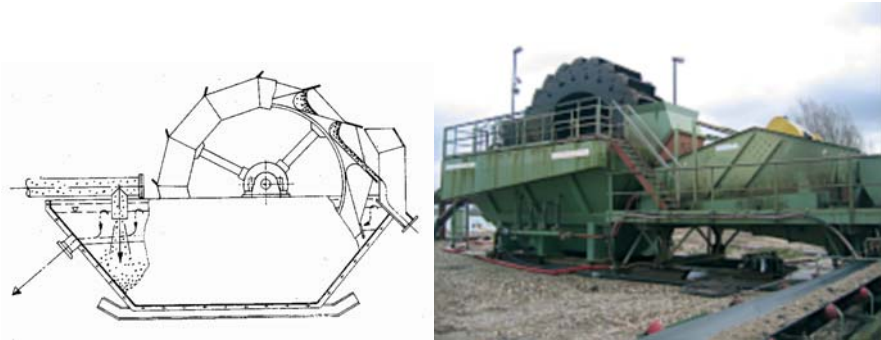


Abb. 6-23 Prinzipskizze und Bauausführung eines Schöpffrads

Die Entwässerung findet bei der Aufbereitung von Kies und Sand durch Sedimentieren oder Filtrieren statt. Beim Sedimentieren erfolgt die Entwässerung unter Ausnutzung von Schwer- oder Zentrifugalkraft, beim Filtrieren von Schwer-, Druck- oder Zentrifugalkraft.

Tabelle 6-6 Entwässerungsverfahren

	Sedimentation		Filtration		
	Schwerkraft	Zentrifugalkraft	Schwerkraft	Druck/Vakuum	Zentrifugalkraft
Natürlich	Halde, Silo		Sandfilter		
Apparativ	Eindicker	Zentrifuge, Hydrozyklon	Schöpfrad, Entwässerungssieb, Entwässerungsrinne, Schrägklärer	Kammerfilterpresse, Siebbandpresse	Filter-zentrifuge

Bei Halden- bzw. Siloentwässerung beträgt die Restfeuchte je nach Korngröße und Dauer der Aufhaldung zwischen 3 und 12 Ma.-% (Kapitel 3.5.5).

Die Kiesfraktionen werden i.d.R. im Zuge der Siebklassierung hinreichend entwässert. Aufgehaldet haben sie einen Wassergehalt von < 3 Ma.-%. Wenn bei nasser Siebung ein Trennschnitt innerhalb der Kiesfraktion erfolgt, ist ein zusätzlicher Siebboden zu verwenden, um das Feingut zu entwässern.

Für die Sandfraktionen hingegen sind spezielle Entwässerungsprozesse notwendig. Ein anfallendes Sand/Wasser-Gemisch aus nasser Siebung, Sortierung oder Feinsandrückgewinnung ist bis auf eine definierte Restfeuchte zu entwässern (nach Schöpfradentwässerung bis zu ca. 18 Ma.-% Siloentwässerung ca. < 10 Ma.-% Wassergehalt).



Abb. 6-24 Entwässerungsschnecke

Für die Entwässerung von Sand 0/2 werden i.d.R. die nachfolgenden Apparate bzw. Einrichtungen verwendet:

- Schöpfrad,
- Entwässerungsschnecke (Abb. 6-24),
- Entwässerungssieb,
- Entwässerungssilo,
- Entwässerungshalde.

Eindicker

Schwieriger wird die Entwässerung von Feinsanden und Schluffen $< 63\mu\text{m}$. Dazu werden Eindicker genutzt. Der Eindicker erlaubt kontinuierlichen Feststoffabzug. Er wird als Rundeindicker gebaut (Abb. 6-25). Innerhalb des Behälters bilden sich verschiedene Zonen aus, u.zw.

- Oben: die Klarflüssigkeitszone,
- Mittig: die Sedimentationszone,
- Unten: die Kompressionszone.

Bei der Eindickung unterscheidet man

- Einzelteilchensedimentation in der Klarflüssigkeitszone und
- Zonensedimentation in der Sedimentationszone.

Alle Körner und Flocken sedimentieren in der Sedimentationszone mit konstanter Geschwindigkeit unabhängig von ihrer Größe. Im Laufe des Absetzens bildet sich am Boden eine Kompressionszone - ggf. über einer Schicht schneller sedimentierter größerer Körner- die sich von der Klarflüssigkeitszone signifikant unterscheidet.

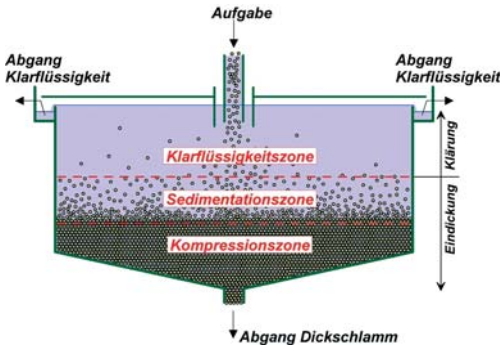


Abb. 6-25 Prinzip Rundeindicker nach Schubert ²⁰¹

Das bei der Entwässerung anfallende Wasser wird in den meisten Fällen der Prozesswasseraufbereitung zugeführt, um so eine minimale Menge an Frischwasser für den Betrieb der Anlage einsetzen zu müssen und zulässige Feststoffgehalte im Abwasser nicht zu überschreiten.

6.3.2.1 Aufbereitung Prozesswasser

Das für die nasse Klassierung, die Sortierprozesse oder die Kieswäsche notwendige Prozesswasser (im Mittel ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{t}$) wird, wenn möglich, in Kreisläufen geführt, um den Bedarf an Frischwasser sowie die anfallende Menge an Abwasser so gering wie möglich zu halten. Dies setzt voraus, dass das Prozesswasser ständig von Verunreinigungen befreit wird. Diese Verunreinigungen sind:

- abschlämmbare Bestandteile (Feinsand, Tone, Schluffe),
- feine organische Substanzen (Holz, Lignite, Kohleflimmer),
- gelöste Substanzen (z.B. Halogenide, Nitrate),
- Vererzungen (Pyrite).

Das mit suspendierten Feinteilen beladene Prozesswasser stammt im Wesentlichen aus den folgenden beiden Prozessstufen:

- Feinsandrückgewinnung,
- Wasseraufbereitung.



Abb. 6-26 Siebbandpresse (Filtration von Prozesswasser) links und Filterkuchen rechts

Die Einführung von geschlossenen Prozesswasserkreisläufen ist i.d.R. mit dem Einsatz von Flockungsmitteln verbunden. In der betrieblichen Praxis der Kies- und Sandaufbereitung haben sich besonders organische, hochmolekulare Flockungsmittel auf der Basis von Polyacrylamid bewährt. Mit diesen Hilfsstoffen kann einerseits die Durchsatzrate von Kläreinrichtungen gesteigert werden, wodurch sich der Investitionsaufwand verringert, andererseits lässt sich die Qualität der Klärung und ggf. Eindickung oder Filtrierung verbessern. Die nahezu vollständige Flüssigkeitstrennung bezeichnet man als Klären.

Die Reinigung des Prozesswassers von ungelösten Bestandteilen erfolgt

- durch Schwerkraft in Klärteichen,
- mechanisch in Eindickern und
- mechanisch in Filterpressen wie Siebband- und Kammerfilterpresse (Abb. 6-26), wenn das Austragsgut stichfest anfallen muss, um auf kleinstem Raum gelagert werden zu können oder
- durch Zentrifugalkraft in Dekantern.

Gelöste Substanzen bedürfen chemischer oder biologischer Aufbereitung in einer weiteren Prozessstufe

Filterpressen kommen wegen der Kosten allerdings seltener zur Anwendung. Die Abscheidung der im Prozesswasser verbliebenen Feststoffpartikel erfolgt durch:

- Rundeindicker mit Krähwerk,
- Eindicktürme mit und ohne Krähwerk,
- Lamelleneindicker.

Entscheidend für den möglichen Durchsatz eines Eindickers ist die zur Verfügung stehende Klärfläche, weshalb bei großen zu klärenden Pro-

zesswasserströmen im Regelfall Rundeindicker mit relativ geringer Wandneigung und Krähwerk zum Einsatz kommen.

Eindicktürme besitzen eine verhältnismäßig geringe Klärfläche und sind daher nur für relativ geringe Aufgabemengen geeignet. Durch den Einbau von Lamellenpaketen kann die aktive Klärfläche in Bezug zum Behältervolumen und zur Aufstellfläche vervielfacht werden, so dass der Lamelleneindicker bzgl. der Aufgaberate zwischen Rundeindicker und Eindicktürmen einzuordnen ist.

Durch den Einsatz von Prozesswasserkreisläufen ist (im idealen Fall) im Gesamtsystem lediglich diejenige Menge an Wasser durch Frischwasser zu ersetzen, die durch die Produkte und den anfallenden Schlamm aus dem System ausgetragen wird sowie durch natürliche Verdunstung verloren geht.

6.3.3 Magnetabscheidung

In besonderen Fällen können weitere Grundvorgänge Teil einer Aufbereitungsanlage werden, z.B. beim Sortieren das Magnetscheiden bei Vorkommen von ferritischen Teilen, u.a. aus Unrat im Rohstoff.

Bei der Magnetscheidung werden aus einem Aufgabestrom magnetisierbarer und nicht magnetisierbarer Feststoffe die magnetisierbaren Komponenten abgetrennt. Dies setzt voraus, dass sich die zu trennenden Bestandteile eines Aufgabegutes hinsichtlich ihrer magnetischen Suszeptibilität genügend unterscheiden. Dann wirken im inhomogenen Magnetfeld auf die zu sortierenden Körner bzw. Teilstücke verschieden große magnetische Kräfte, so dass diese im Prozessraum unterschiedliche Bewegungsbahnen zurücklegen. Bei der Aufbereitung von Lockergestein werden Überbandmagnete zur Abscheidung ferritischer Stoffe aus dem Rohstoffstrom nach Entwässerung eingesetzt, wobei der Elektromagnet über dem Förderband installiert ist (Abb. 6-27).

Eine weitere Anwendung der Magnetabscheidung ist die Abscheidung von Kampfmitteln aus dem Spülstrom.



Abb. 6-27 Magnetabscheidung über Förderband

6.3.4 Zerkleinerung

Zerkleinerung bedeutet die Verringerung der Partikelgröße fester Stoffe. Ziel der Zerkleinerung bei der Aufbereitung von Kies und Sand ist die Verwertung des Überkorns $> 32\text{mm}$ (Tabelle 6-7) sowie im ggf. im Überschuss anfallende Grobkiese z.B. der Fraktion 16/32.

Tabelle 6-7 Einteilung des Grundvorganges Zerkleinern

Zerkleinerungsvorgang	Wirkprinzip	Anwendungsbeispiel
Brechen	Zerkleinerung mit direkt angetriebenen Brechwerkzeugen	Backenbrecher
		Kegelbrecher
		Walzenbrecher
		Prallbrecher
	Zerkleinerung ohne angetriebene Brechwerkzeuge	Autogenmühle
Mahlen	Zerkleinerung mit direkt angetriebenen Brechwerkzeugen	Prallmühle
	Zerkleinerung mit angetriebenen Mahlwerkzeugen	Schwingmühle

Durch die Zusetzung des Brechgutes kann in körnungsarmen Lagerstätten eine Aufbesserung des Körnungsgehaltes sowie der Kornverteilungskurve erzielt werden.

Darüber hinaus kann die Zerkleinerung von im Überschuss anfallendem Grobkies dazu dienen, eine ausgewogenere Kornverteilung zu erreichen und so den ebenfalls überschüssigen Sandanteil zusätzlich zu vermarkten, der ansonsten verkippt werden müsste. Bei der Herstellung von Brechkorn ist auf die zulässigen Anteile von Rundkornteilen zu achten.

Zerkleinerung kann in sandarmen Lagerstätten aber auch zur Herstellung von Sand, sog. Brechsand, dienen.

Es werden die folgenden Maschinen verwendet:

- Backenbrecher,
- Kegelbrecher,
- Prallbrecher (vertikal, horizontal, Abb. 6-23),
- Prallmühle.



Abb. 6-28 Prallmühle zur Zerkleinerung von Überkorn > 32mm

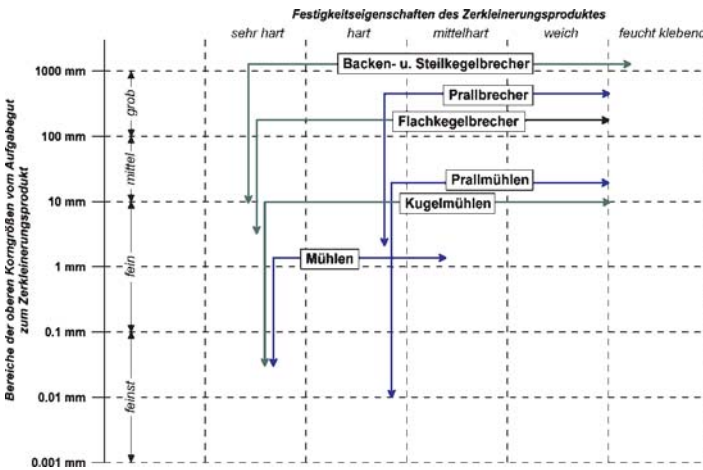


Abb. 6-29 Einsatzbereiche ausgewählter Zerkleinerungsmaschinen nach Schubert²⁰¹

Einsatzbereiche einiger ausgewählter Zerkleinerungsmaschinen sind in (Abb. 6-25) dargestellt.

Bei der Kiessandaufbereitung finden hauptsächlich Backen- und Kegelschredder sowie Prallschredder Anwendung. Die Wirkungsweise der Backen- und Kegelschredder ist schematisch in Abb. 6-26 dargestellt.

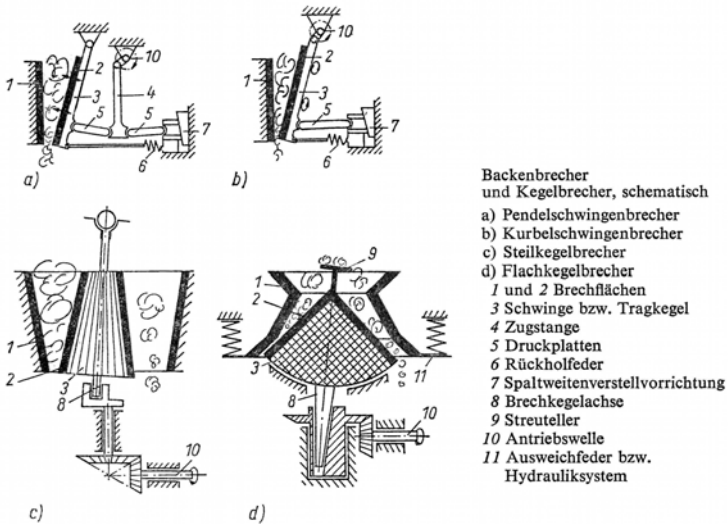


Abb. 6-30 Prinzipskizzen von Backen- und Kegelschredder nach Schubert ²⁰¹
(a: Kniehebelbrecher, b: Kurbelschwingenbrecher, c: Steilkegelbrecher d: Flachkegelbrecher)

6.3.5 Lagern und Mischen

Die Lagerung des aufbereiteten Rohstoffes erfolgt entweder in Silos oder auf Halden, getrennt nach Fraktionen. Im Zuge der Haldenwirtschaft ist darauf zu achten, dass beim Lagern keine Vermischung der Einzelfraktionen eintritt. Bei nicht ausreichendem Platz werden deshalb Stellwände verwendet.

Neben dem Verkauf von reinen Körnungen werden häufig aber auch Mineralgemische geliefert. Dazu werden die Einzelfraktionen gemäß Anforderungsprofil des Abnehmers zu Korngemischen kontrolliert zusammengesetzt und vermischt, z.B. zu einem Korngemisch 0/32 oder einem Sand 0/4 oder 0/8. Die für den Grundvorgang Mischen erforderlichen Vorgänge sind in Tabelle 6-8 aufgelistet.

Tabelle 6-8 Einteilung des Grundvorganges Mischen

Misch- vorgang	Wirk- prinzip	Ausführung			Ausfüh- rungs- beispiel
		Anwendung	Art	Merkmal	
Mischen körniger Stoffe	Schwer- kraft	Freifall- mischung	Siloaustrag	kontinuierlich	Dosieranlage Bunker, Silo
			Radladerschau- fel	diskontinuier- lich	Halde,
		rotierender Mischer	rotierend, Taumelbewe- gung überlagert	diskontinuier- lich	Trommel- mischer zylindrisch, zylindrisch- konisch, ko- nisch
		feststehender Mischer	Zwangsmi- schung	kontinuierlich	Trogmischer

Das Mischen verschiedener Körnungsfractionen 0/2, 2/8, 8/16 und 16/32 oder Mineralgemische 0/4, 0/8, 0/16 oder 0/32 erfolgt in der Kies- und Sandindustrie häufig ohne besondere Mischeinrichtungen wie etwa rotierende Behälter, sog. Trommelmischer, oder Freifallmischer, oder feststehende Mischbehälter mit Rührwerken, sog. Trog- bzw. Zwangsmischer. Vielmehr erfolgt das Mischen z.B. durch Beschickung eines Förderbandes nach Materialabzug aus verschiedenen Silos oder einfach durch Radladerverladung verschiedener Einzelfractionen in einem vorgegebenen Mengenverhältnis.

6.4 Prozess- und Anlagenplanung

Bei der Planung einer verfahrenstechnischen Industrieanlage, die dem Stand der Technik entsprechen soll, muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllt werden, u.a.:

- der Planungsprozess muss in möglichst kurzer Zeit durchgeführt werden,
- der Planungsprozess muss kostengünstig sein,
- der Planungsablauf muss nachvollziehbar sein. Anhand der erstellten Dokumentation müssen das Planungsergebnis selbst sowie die ergebnisführenden Arbeiten bewertbar sein,
- der Stand der Technik muss bei der Entwicklung der Lösungsmöglichkeiten möglichst umfassend berücksichtigt werden,

- die relevanten Einflussgrößen und Rahmenbedingungen müssen berücksichtigt werden und deren zukünftige Entwicklung ist abzuschätzen,
- die Unsicherheit der verwendeten Daten und Modelle muss berücksichtigt werden,
- im Planungsergebnis muss die Realisierbarkeit des Planungsobjektes hinsichtlich Kosten und Zeiträumen begründet sein.

6.4.1 Prozess und Anlagenplanung mit dem Planungssystem DIMAN[®]

Für die Prozess- und Anlagenplanung wird ein zweistufiges Vorgehen zugrunde gelegt, und zwar in der Weise,

- dass in der Stufe der Prozessplanung vorteilhaft erscheinende Prozessvarianten für die jeweilige Aufbereitungsaufgabe entwickelt werden
- und in der Stufe der Anlagenplanung für die einzelnen Prozessvarianten eine oder mehrere Varianten der anlagentechnischen Realisierung erarbeitet werden.

Die auf diese Weise erzeugte und zu bewertende Variantenvielfalt ist noch recht groß, durch ein gut strukturiertes Vorgehen und entsprechende Software-Unterstützung jedoch beherrschbar. Diesen Belangen wird im Planungssystem DIMAN[®] Rechnung getragen^{209, 131}.

6.4.1.1 Prozessplanung

Ausgangspunkt bilden die Daten zu dem gegebenen Rohstoff und dem geforderten Produktprogramm (auf Flexibilitätsprobleme, die sich mit Veränderungen der Rohstoffbeschaffenheit während des Abbaus und variablen Produktprogramm ergeben können, wird später noch eingegangen).

Bei der Prozessplanung ist die Prozessstruktur mit den einzusetzenden Prozessarten (Klassierung, Sortierung, Zerkleinerung, Flüssigkeitsabtrennung) und deren Realisierungsvarianten (z.B. Siebklassierung, Stromklassierung) zu bestimmen. Dies erfolgt schrittweise ausgehend vom Rohstoffstrom hinführend zu den Produktströmen in einem aufbauenden Verfahren, sodass für jeden aktuell betrachteten Prozessstrom ein oder mehrere Prozessvorschläge für dessen weitere Behandlung erarbeitet werden.

In Abb. 6-31 ist das Vorgehen mit den verwendeten Regeln und Modellen sowie den Stamm- und Projektdaten veranschaulicht. Die in der middle-

ren Spalte dargestellten Planungsschritte werden zyklisch durchlaufen. Mit jedem durchlaufenden Zyklus wird der Prozess um eine Stufe erweitert.

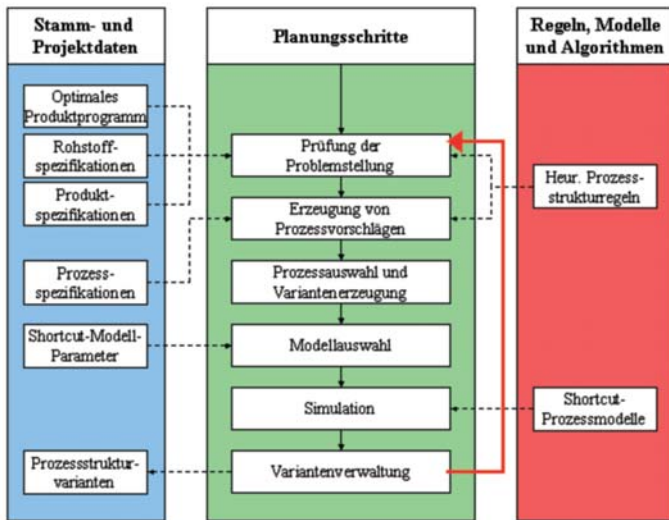


Abb. 6-31 Planungsablauf von DIMAN® zur Prozessplanung

Für die Stoffströme wird eine (gegenüber der Produktprogrammplanung) erweiterte Beschreibung verwendet, bei der neben dem Wertstoff (mit Massenstrom und Korngrößenverteilung) und Feinstkornagglomeraten die festen Begleitstoffe (Holz, Kohle, humose Leichtstoffe, karbonatische Feststoffe, Alkalilösliche Kieselsäure, u.A.) und flüssige bzw. gelöste Begleitstoffe (Wasser, Nitrate, Chloride) berücksichtigt werden. Die festen Begleitstoffe werden dabei mit ihren Teilmassenströmen und bezüglich der Partikelgröße in den Klassen grob, mittel, fein erfasst.

Für die Analyse der Prozessströme und die Erzeugung von Prozessvorschlägen wird ein System von 50 heuristischen Regeln eingesetzt. Diese Regeln repräsentieren umfangreiches ingenieurtechnisches Fachwissen auf dem Gebiet der Kies- und Sandaufbereitung.

Um den schrittweisen Aufbau des Gesamtprozesses zu ermöglichen, müssen für jede Prozessstufe die Parameter der jeweiligen Ausgangsströme ermittelt werden. Dies erfolgt mit sog. Short-Cut-Modellen (Kapitel 6.3.2), die in einer Modellbibliothek für

- Grobklassierung,
- Sieb- und Stromklassierung,
- Zerkleinerung,

- Dichtesortierung,
- Läuterung und
- Entwässerung

zur Verfügung gestellt sind. Mit Teilmodellen können dabei im Bedarfsfall auch die o. a. Begleitstoffe beschrieben werden.

Die Verwaltung der auf die vorbeschriebene Weise erzeugten Prozessvariante ist durch eine entsprechende Datei im Rahmen der Projektdaten sichergestellt.

6.4.1.2 Anlagenplanung

Die Auswahl der Aufbereitungsausrüstungen (aus der 50 Ausrüstungen umfassenden Datenbank) und damit der schrittweise Aufbau der gesamten Anlagen erfolgt auf der Basis der erzeugten Prozessvarianten. Dabei werden auch Ausrüstungsalternativen für jede Prozessvariante berücksichtigt.

Die Vorgehensweise bei der Anlagenplanung ist in Abb. 6-32 dargestellt, wobei in Bezug zu den Planungsschritten die Stamm- und Projektdaten sowie die anzuwendenden Regeln, Modelle und Algorithmen ausgewiesen sind.

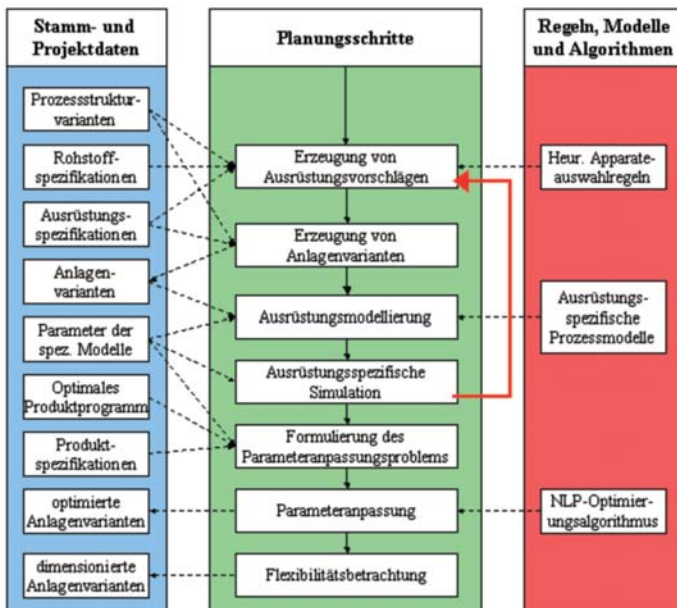


Abb. 6-32 Planungsablauf von DIMAN® zur Anlagenplanung

Nach jedem (eine Prozessstufe betreffenden Auswahlschritt) sind die Parameter der durch die ausgewählte Ausrüstung erzeugten Ausgangsströme zu ermitteln. Dies erfolgt mit ausrüstungsspezifischen Prozessmodellen und deren simulativer Auswertung, sodass dann mit einer gegenüber der Prozessplanung erhöhten Genauigkeit die Parameter für den Eingangsstrom der folgenden Ausrüstung zur Verfügung stehen.

Dieses Vorgehen erfolgt, wie in Abb. 6-32 angegeben, zyklisch bis die jeweilige komplette Anlage aufgebaut ist. Die Gesamtheit der erzeugten Anlagenvarianten wird im Rahmen der entwickelten Software verwaltet.

Nach Aufbau der Anlagenvarianten besteht die Möglichkeit eine sog. Parameteranpassung vorzunehmen. Die Zielstellung besteht darin, die Parameter des ausrüstungsbezogenen Anlagenmodells auf solche Werte festzulegen, bei denen die Abweichungen zwischen den mit dem Modell berechneten Produktspezifikationen und den Forderungen aus der Produktprogrammplanung minimal sind. Dies ist dann die Voraussetzung dafür, auch die Ausrüstungsabmessungen und -einstellungen entsprechend angepasst festlegen zu können. Bei dem Parameteranpassungsproblem handelt es sich um ein nichtlineares Optimierungsproblem, das jedoch bei Anwendung von DIMAN[®] recht einfach behandelt werden kann.

Flexibilitätsbetrachtungen werden notwendig, wenn Veränderungen der Rohstoffbeschaffenheit oder des Produktprogramms zu berücksichtigen sind. Ein gängiger Weg zur Analyse der Flexibilität einer existierenden oder im Entwurf befindlichen Anlage sind Simulationsstudien. Voraussetzung hierfür sind ausrüstungsspezifische Modelle der Ausrüstungen, die deren Flexibilität beschreiben. In bestimmtem Umfang sind solche Modelle im System DIMAN[®] und im Fließschemasimulationssystem SolidSim (Kapitel 6.3.3) enthalten. Für den Fall, dass die analysierte Anlage noch nicht die geforderte Flexibilität besitzt, muss eine Modifizierung der Anlage vorgenommen werden. Dies kann auf halbempirischen Wege erfolgen, in dem man (z.B. auch regelbasiert) Ausrüstungen durch solche mit erweitertem Arbeitsbereich ersetzt und anschließend die Wirksamkeit dieser Maßnahme wieder durch Simulationsstudien überprüft.

Den Abschluss der Prozess- und Anlagenplanung bildet die Wirtschaftlichkeitsanalyse. Zu deren Durchführung verfügt DIMAN[®] über wichtige Funktionalitäten:

- Für die in der Ausrüstungsdatenbank erfassten 50 Ausrüstungen werden Berechnungsgleichungen bereitgestellt, mit deren Hilfe die Anschaffungskosten, die Reparaturkosten, der elektrische Leistungsbedarf und Bedarfswerte für Wasser und Hilfsstoffe berechnet werden können. Diese Gleichungen beruhen auf Angaben in der Baugeräteleiste²¹⁰.

- Datenmaterial zu weiteren Kostenpositionen, wie z.B. zu Lohnkosten, Herrichtungskosten, Planungskosten werden bereitgestellt.
- Für die im Rahmen der statischen und dynamischen Wirtschaftlichkeitsanalyse interessierenden Wirtschaftlichkeitskenngrößen sind die entsprechenden Berechnungsprogramme verfügbar.

Mit diesen Hilfsmitteln ist auch die Analyse einer größeren Anzahl von Anlagenvarianten mit vertretbarem Aufwand möglich.

6.4.2 Shortcut-Modelle für die Prozessplanung

In der Prozessplanung mit DIMAN[®] werden Shortcut-Modelle verwendet für:

- Grobklassierung,
- Siebklassierung,
- Stromklassierung,
- Zerkleinerung,
- Dichtesortierung,
- Waschen (Läuterung),
- Entwässerung.

6.4.2.1 Modell der Grobklassierung (Roste)

Der Stoffstrom wird von grobem Unrat $\dot{m}_U$ befreit. Nach der Trennfunktion

$$T = \begin{cases} 0 & \text{für } \dot{m} \neq \dot{m}_U \\ 1 & \text{für } \dot{m} = \dot{m}_U \end{cases} \quad (6-11)$$

besteht das Feingut aus dem von $\dot{m}_U$ befreiten Stoffstrom, sodass für den Grobgutstrom $\dot{m}^G = \dot{m}_U^G = \dot{m}_U^A$ ist. Für den Feingutstrom gilt

$$\dot{m}_U^F = 0 \quad (6-12)$$

und für die übrigen Teilmassenströme

$$\dot{m}^F = \dot{m}^A \quad (6-13)$$

6.4.2.2 Modell der Siebklassierung

Teilmodell für Wertstoff der Korngrößenfraktionen 1 – 23 (für Wertstoff werden 23 Fraktionen eingeführt) abzüglich agglomerierter sowie an Kornoberflächen haftender Anteile der Korngrößenfraktion 1 mit der Trennfunktion nach Rogers ²¹¹:

$$T(\bar{d}_j) = a + (1 - a) \left(1 + \left(\frac{d_T}{\bar{d}_j} \right)^\alpha e^{\left(1 - \left(\frac{\bar{d}_j}{d_T} \right)^3 \right)} \right) \quad (6-14)$$

mit

$T(\bar{d}_j)$ Trennfunktion für Korngrößenfraktion j

$\bar{d}_j$ mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j

d_T Trennkorndurchmesser

a Bypass in das Grobgut

α Steigung der Trennfunktion (Trennschärfe).

Für die Simulation werden folgende Werte verwendet:

Trennschnitt $d_T = 0,125 \text{ mm}$,

Bypass $a = 0,01$,

Trennschärfe $\alpha = 4$.

Teilmodell für Agglomerate aus Feinanteilen (in drei Partikelgrößen):

$$T_{f/m/g}(d) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } d_T \geq d_{\text{Partikel,o}} \\ 1 & \text{wenn } d_T \leq d_{\text{Partikel,u}} \\ \frac{d_{\text{Partikel,o}} - d_T}{d_{\text{Partikel,o}} - d_{\text{Partikel,u}}} & \text{wenn } d_{\text{Partikel,u}} < d_T < d_{\text{Partikel,o}} \end{cases} \quad (6-15)$$

mit

$T_{f/m/g}(d)$ Trennfunktion feiner (f), mittlerer (m) und grober Partikel

d_T Trennkorndurchmesser

$d_{\text{Partikel,u}}$ unterer Grenzkorndurchmesser der Partikelgrößenfraktion

$d_{\text{Partikel,o}}$ oberer Grenzkorndurchmesser der Partikelgrößenfraktion und

		Fraktion		
		fein	mittel	Grob
$d_{\text{Partikel,u}}$	[mm]	0	2	8
$d_{\text{Partikel,o}}$	[mm]	2	8	X

Teilmodell für an Kornoberflächen haftende Agglomerate aus Feinanteilen:

$$T(\bar{d}_j) = \begin{cases} \sum_{j=j(d_T)}^{23} x_{R,j} & \text{wenn } d_T \geq 2\text{mm} \\ \sum_{j=10}^{23} x_{R,j} & \text{wenn } d_T < 2\text{mm} \\ 0 & \end{cases} \quad (6-16)$$

mit

$T(\bar{d}_j)$ Trennfunktion

$\bar{d}_j$ mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j

d_T Trennkorndurchmesser

$x_{R,j}$ Massenanteil in Fraktion j .

Teilmodell für feste Begleitstoffe:

$$T_{f/m/g}(\bar{d}_j) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \bar{d}_j < d_T \\ 1 & \text{wenn } \bar{d}_j \geq d_T \end{cases} \quad (6-17)$$

mit

$T(\bar{d}_j)$ Trennfunktion

$\bar{d}_j$ mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j

d_T Trennkorndurchmesser.

Teilmodell für Wasser und wasserlösliche Begleitstoffe:

Das Wasser wird bis auf die an Partikeloberflächen haftenden Anteile in das Feingut geleitet. Die wasserlöslichen Stoffe werden im Verhältnis des Wassers auf den Fein- und Grobgutstrom aufgeteilt. Die Trennfunktion für Wasser und wasserlösliche Begleitstoffe wird somit durch das oberflächenhaftende Wasser des Grobgutstromes bestimmt

$$T(\bar{d}_j) = \frac{A_M^G}{A_M^A} \quad (6-18)$$

mit

$T(\bar{d}_j)$ Trennfunktion

$\bar{d}_j$ mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j

A_M^G	massenbezogene Oberfläche des Grobgutes
A_M^A	massenbezogene Oberfläche des Aufgabegutes.

Die massenbezogenen Oberflächen von Kies und Sand werden nach Schubert²⁰¹, mit der Sphärizität nach DIN 66141, wie folgt ermittelt:

$$A_M^G = f \sum_{j=J_{dt}}^{23} \frac{x_j}{d_j} 10^{-3} \quad (6-19)$$

bzw.

$$A_M^A = f \sum_{j=1}^{23} \frac{x_j}{d_j} 10^{-3} \text{ mit } d_0 = 0 \quad (6-20)$$

mit

$f = 6 \varphi$	Formfaktor nach Schubert
φ	Sphärizität
x_j	Wertstoffmassenanteil in Fraktion j.

Dazu wird für die Sphärizität von Kies und Sand der Wert $\varphi = 1,2$ und für die Schüttdichte der Wert $\rho_s = 1,7 \text{ g/cm}^3$ verwendet⁵⁵.

Der Anteil des Wassers im Grobgut beträgt:

$$\dot{m}_W^G = A_M^G w \dot{m}_R \quad (6-21)$$

mit

$\dot{m}_W^G$	oberflächenhaftendes Wasser
w	Benetzbarkeit
$\dot{m}_R$	Wertstoffmassenstrom.

Für die Benetzbarkeit w als Maß der spezifischen partikeloberflächenhaftenden Wassermenge wird für Kies $0,1 \text{ kg/m}^2$ und für Sand $0,12 \text{ kg/m}^2$ verwendet²¹².

Teilmodell für nicht oberflächenhaftendes Wasser und wasserlösliche Begleitstoffe:

$$T(\bar{d}_j) = 0 \quad (6-22)$$

Das nicht oberflächenhaftende Wasser gelangt vollständig in den Fein-
gutstrom. Die Verteilung wasserlöslicher Stoffe wird gemäß der Verteilung des Wassers auf die Ergebnisströme ermittelt.

6.4.2.3 Modell der Stromklassierung

Für die Stromklassierung wird das gleiche Shortcut-Modell wie für die Siebklassierung eingesetzt.

6.4.2.4 Modell der Zerkleinerung

Im Shortcut-Modell der Zerkleinerung werden ein Klassier- und Zerkleinerungskreislauf als integrale Prozessstufe mit einem Aufgabe- und einem Ergebnisstoffstrom beschrieben, wie in Abb. 6-33 dargestellt ist.

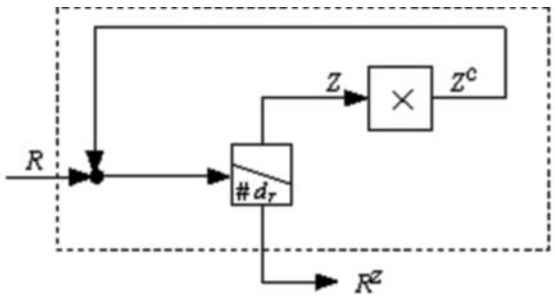


Abb. 6-33 Klassier- und Zerkleinerungskreislauf im Shortcut-Modell der Zerkleinerung

Die aufgeführte Klassierstufe dient der Abtrennung des Feingutes vom Kreislaufmassenstrom der Zerkleinerung, sodass das enthaltene Grobgut, das aus dem Aufgabebut R und aus dem Kreislaufgut Z^c stammen kann, in das Zerkleinerungsgut Z gelangt. Der Trennkorndurchmesser bestimmt somit den größten Korndurchmesser d^0 im Ergebnisstoffstrom R^Z . Für Prozesse in der Aufbereitung von Kiessanden werden erfahrungsgemäß Werte von $d_T = 32$ mm bis 90 mm verwendet. Der Wertebereich kann für den Einsatz der beschriebenen Vorgehensweise in anderen Branchen entsprechend angepasst werden.

Die Zerkleinerung wird durch eine Zerkleinerungsmatrix beschrieben, mit der die Ergebnisse von Zerkleinerungsereignissen für Körner unterschiedlicher Korngrößenfraktionen beschrieben werden. Die in der Zerkleinerungsmatrix zu verwendenden Werte der Koeffizienten ξ_{jk} sind von der maximalen Korngröße des Aufgabeguts R , vom Trennkorndurchmesser der Klassierstufe d_T und von der Art des Zerkleinerungsgerätes abhängig. In Tabelle 6-1 ist beispielsweise eine Zerkleinerungsmatrix für einen Prallbrecher bei maximaler Aufgabekorngröße $d^0 = 90$ mm und Trennschnitt $d_T = 32$ mm aufgeführt.

Tabelle 6-9 Zerkleinerungskoeffizienten

	[mm]	in Fraktion k [mm]					
		63 / 90	56 / 63	45 / 56	31,5 / 45	22,4 / 31,5	16 / 22,4
in Fraktion j [mm]	> 90	-	-	-	-	-	-
	63 / 90	-	-	-	-	-	-
	56 / 63	-	-	-	-	-	-
	45 / 56	-	-	-	-	-	-
	31,5 / 45	6,0	5,0	5,0	1,0	-	-
	22,4 / 31,5	8,0	7,0	6,0	4,0	1,0	-
	16 / 22,4	9,0	7,0	7,0	5,0	4,0	1,0
	11,2 / 16	10,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
	8 / 11,2	12,0	10,0	8,0	7,0	8,0	6,0
	5,6 / 8	13,0	11,0	9,0	8,0	9,0	8,0
	5 / 5,6	11,0	12,0	10,0	9,0	11,0	9,0
	4 / 5	10,0	10,0	10,0	10,0	13,0	12,0
	2,8 / 4	9,0	9,0	9,0	12,0	10,0	14,0
	2 / 2,8	3,0	6,0	7,0	9,0	8,0	10,0
	1,4 / 2	2,0	4,0	5,0	7,0	7,0	9,0
	1 / 1,4	2,0	3,0	4,0	6,0	6,0	7,0
	0,71 / 1	1,0	2,0	3,0	5,0	5,0	5,0
	0,5 / 0,71	1,0	2,0	2,0	4,0	4,0	4,0
	0,25 / 0,5	1,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0
	0,125 / 0,25	0,5	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0
	0,09 / 0,125	0,5	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
	0,063 / 0,09	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0
	< 0,063	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	2,0

6.4.2.5 Modell der Dichtesortierung

Bei der Dichtesortierung erfolgt gemäß dem Shortcut-Modell die vollständige Übertragung der folgenden Begleitstoffe in den Feingutstrom:

- Leicht- und Schwerholz,
- karbonatische Feststoffe (z.B. Muscheln),
- alkalireaktive Kieselsäure (z.B. Flint, Opal),

- leichte und schwere Kohle,
- humose Stoffe,
- Glimmer,
- Sulfate.

Die Aufteilung der feinen Korngrößenfraktionen erfolgt nach dem Prinzip der Stromklassierung mit der Trennfunktion nach Plitt ²¹³:

$$T(\bar{d}_j) = 1 - e^{-0,693 \left(\frac{\bar{d}_j}{d_T} \right)^\alpha} \quad (6-23)$$

mit

$T(\bar{d}_j)$	Trennfunktion für Korngrößenfraktion j
$\bar{d}_j$	mittlerer Korndurchmesser der Fraktion j
d_T	Trennkorndurchmesser
α	Steigung der Trennfunktion (Trennschärfe).

Für die Shortcut-Simulation werden folgende konstante Werte verwendet:

- Trennschnitt $d_T = 0,125 \text{ mm}$,
- Trennschärfe $\alpha = 3$.

6.4.2.6 Modell der Läuterung

Bei der Läuterung erfolgt im Rahmen der Shortcut-Modellierung die vollständige Auflösung der folgenden Begleitstoffe:

- Agglomerate aus Feinanteilen und
- Verkrustungen aus Feinanteilen.

Die Aufteilung der Korngrößenfraktionen erfolgt nach dem Prinzip der Stromklassierung mit der Trennfunktion nach Plitt gemäß Gl. 6-23.

6.4.2.7 Modell der Entwässerung

Der Einsatz einer Prozessstufe sieht das Abscheiden von nicht oberflächengebundenem Wasser vor. Die Trennfunktion wird durch das oberflächenhafte Wasser des Aufgabegutstromes bestimmt.

Der Anteil des Wassers im Grobgut beträgt mit der Flächenbestimmung in Gl. 6-19:

$$\dot{m}_{W,Ob}^A = A_M^A w \dot{m}_R \quad (6-24)$$

mit

$\dot{m}_{W,Ob}^A$	oberflächenhaftendes Wasser
A_M^A	Oberfläche des Aufgabegutes
w	Benetzbarkeit
$\dot{m}_R$	Wertstoffmassenstrom.

Für die Benetzbarkeit w als Maß der spezifischen partikeloberflächenhaftenden Wassermenge wird für Kies 0,1 kg/m² und für Sand 0,12 kg/m² verwendet.

Somit besteht das Feingut der Entwässerung ausschließlich aus dem nicht oberflächengebundenen Wasser

$$\dot{m}^F = \dot{m}_W^F = \dot{m}_W^A - \dot{m}_{W,Ob}^A \quad (6-25)$$

Für den Grobstrom ist

$$\dot{m}_W^G = \dot{m}_{W,Ob}^A \quad (6-26)$$

und für die übrigen Teilmassenströme ist

$$\dot{m}^G = \dot{m}^A \quad (6-27)$$

6.4.3 Prozess- und Anlagensimulation mit dem Fließschemasimulations-System SolidSim®

Im Verlauf von Entwurfprozessen sind Analysen und Bewertungen der jeweiligen Prozess- bzw. Anlagenentwürfe vorzunehmen. Grundlage bilden die Daten der durch die Anlage, d.h. das vorgesehene Ausrüstungssystem, realisierbaren Stoffströme. Bei diesen Daten handelt es sich vor allem um die Werte der Gesamtstoffströme, die Partikelgrößenverteilungen, insbesondere auch für den Wertstoff (Sand und Kies), kennzeichnende Größen für Begleit- und Schadstoffe, Wassergehalte bzw. Feuchtigkeitswerte und damit in Zusammenhang stehenden Größen wie Teilmassenströme.

Diese Daten sind in Abhängigkeit der Parameter des jeweiligen Rohstoffstromes für die Produktströme, anfallende Rest- bzw. Rückstandsströme und für die „inneren“ Ströme der Anlage, die Verbindungen zwischen den Ausrüstungen herstellen, bereit zu stellen. Außerdem sind energetische Größen wie die Energiebedarfswerte von Maschinen von Interesse.

Die Ermittlung dieser Größen kann durch mathematische Auswertung des jeweiligen Anlagenmodells erfolgen, das zu diesem Zweck durch entsprechende Vorarbeiten bereitgestellt werden muss.

Die Modellierung und die Simulation als Auswertung der Modelle zur Gewinnung der o.g. Daten kann im Rahmen der praktischen Ingenieur Tätigkeit prinzipiell durch die Verwendung von rechnergestützten Modellierungs- und Simulationssystemen, sog. Fließschemasimulations-Systemen, sehr effektiv gestaltet werden. Für verfahrenstechnische Prozesse und Anlagen mit fluiden Medien werden solche Systeme bereits seit mehreren Jahrzehnten industriell erfolgreich eingesetzt. Für verfahrenstechnische Prozesse und Anlagen mit Feststoffen steht erst seit kurzer Zeit ein vergleichsweise leistungsfähiges System SolidSim zur Verfügung^{214, 215}.

Mit Hilfe dieses Systems können folgende Aufgaben wahrgenommen werden:

- Auswahl und Parametrierung der Modelle für die Ausrüstungen,
- Kopplung der Ausrüstungsmodelle zum Anlagenmodell,
- Eingabe aller Daten der Aufgabenstellung,
- Festlegung der gewünschten Ergebnisdaten,
- Durchführung der Simulationsrechnungen.

Die Anwendung des Systems wird durch zweckmäßig gestaltete Bedienoberflächen mit der Darstellung von numerischen und graphischen Informationen zu Prozessen, und Anlagen unterstützt.

Die Effektivität dieses Systems ermöglicht es, in der Entwurfsphase auch eine größere Anzahl von Anlagenvarianten zu berechnen, um günstige Lösungen für die Ausrüstungsauswahl und Wahl der Ausrüstungsparameter und für die Wahl der Verschaltung zu finden sowie die Analyse des Einflusses unterschiedlicher Rohstoffbeschaffenheit, der Veränderung der Produktspezifikationen und weiterer Einflussgrößen vorzunehmen.

Mit diesen Funktionalitäten kann das System auch sehr nutzbringend für die Optimierung des Betriebes bestehender Anlagen eingesetzt werden, um z.B. Veränderungen auf der Rohstoff- oder Produktseite bestmöglich Rechnung zu tragen.

In Abb. 6-34 ist der Aufbau des SolidSim-Systems dargestellt. Die Hauptkomponenten des Systems sind die Simulationsumgebung (Simulation Environment), das Stromobjekt (Material Stream Object) und die Prozess- und Ausrüstungsmodelle (Unit Models).

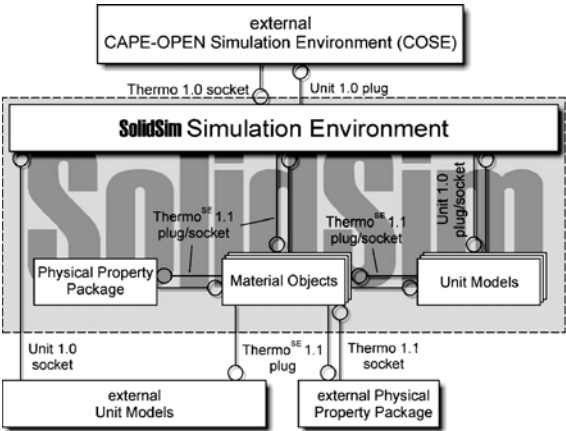


Abb. 6-34 Aufbau des Programmsystem SolidSim[®]

Die Simulationsumgebung beinhaltet zunächst die graphische Benutzeroberfläche, die die Spezifikation der Simulationaufgabe durch den Anwender ermöglicht. Durch die Auswahl der Units wird ein Fließschema erzeugt und visualisiert. Über genormte Schnittstellen können die Dialoge der Ausrüstungsmodulen aufgerufen werden, um die benötigten Modelle auszuwählen und parametrieren zu können. Die in die Anlage eintretenden Ströme werden ebenfalls über einen Dialog spezifiziert.

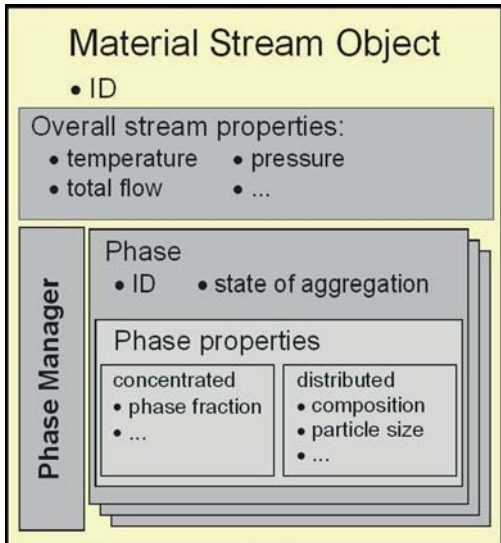


Abb. 6-35 Struktur des Material Stream Objects

Das Stromobjekt gemäß Abb. 6-35 bietet die Struktur für die Darstellung der Eigenschaften der Materialströme. Dabei sind folgende Möglichkeiten gegeben:

- Kennzeichnung des Gesamtstromes mit globalen Parametern, wie Gesamtmassenstrom, Temperatur, Druck u.a..
- Unterscheidung von unterschiedlichen Phasenströmen, z.B. von Flüssigkeit und Feststoff innerhalb des Gesamtstromes.
- Beschreibung der festen Phase mit verteilten und hierarchisch von einander abhängigen Feststoffattributen, z.B. mit der Partikelgrößenverteilung und variabler stofflicher Zusammensetzung in den unterschiedlichen Partikelgrößenbereichen.
- Beschreibung der fluiden Phase mit konzentrierten Größen, z.B. der Zusammensetzung.

Hiermit kann allen in der Kies- und Sandindustrie auftretenden Erfordernissen der Stoffcharakterisierung Rechnung getragen werden. Insbesondere ist es möglich, neben den eigentlichen Wertstoffen auch auftretende Begleit- bzw. Schadstoffe differenziert zu erfassen.

Als fluide Phase kann z.B. Wasser berücksichtigt werden, sodass auch die Möglichkeit besteht Waschwasserkreisläufe, im Bedarfsfall auch unter Einschluss der Wasseraufbereitung, in ihrer Kopplung mit dem eigentlichen Aufbereitungsprozess zu behandeln.

Prozess- und Ausrüstungsmodelle sind in einer Modellbibliothek zusammengefasst, die ständig erweitert wird, und zwar sowohl hinsichtlich der Art der Units als auch hinsichtlich unterschiedlicher Modellversionen für die einzelnen Units.

Für die Kies- und Sandindustrie sind dabei vor allem folgende Prozessgruppen von Interesse:

- Siebklassierung,
- Stromklassierung,
- Sortierung,
- Sedimentation,
- Filtration,
- Entwässerung mit Sieben u. Schöpfrädern,
- Wäsche/Läuterung,
- Zerkleinerung.

Durch eine geeignete softwaremäßige Lösung ist gewährleistet, dass jeder Anwender des Systems auch eigene Modelle in recht einfacher Weise implementieren kann.

Zur Gewährleistung der Anwenderfreundlichkeit dient auch ein Hilfesystem. Bei dessen Aufruf werden für die jeweilige Unit die entsprechenden Modellgleichungen angezeigt, es werden Empfehlungen für Wahl der Parameter gegeben, und es wird schließlich auf Referenzen der Modellanwendung verwiesen. In diesem Hilfesystem kann auch jeder Anwender seine persönlichen Erfahrungen speichern.

7 Lagerstättenbewertung und betriebswirtschaftliche Analyse

Im Zusammenhang mit betriebswirtschaftlichen Fragen eines Rohstoffabbaus stehen die Bewertung von Lagerstätten und die Kostenanalyse im Vordergrund²¹⁶.

Die Bewertung einer Lagerstätte oder eines Teiles davon erfolgt beispielsweise:

- für einen bevorstehenden Ankauf,
- für die Aufnahme eines Kredites oder
- für die Ermittlung eines zu entrichtenden Förderzinses.

Unter Förderzins wird eine angemessene Abgabe an den Verkäufer oder Grundstückseigentümer für den gewonnenen Bodenschatz verstanden. Für unter Bergrecht stehende Bodenschätze gibt das BBergG eine Förderabgabe vor, die neben einem angemessenen Aufschlag im Förderzins enthalten ist.

Die Bewertung erfolgt i.d.R. aus der Sicht des potentiellen Käufers bzw. des Verkäufers bei Eigentumsübergang. Ein Sonderfall ist die Bewertung bei Stilllegung.

Das Ergebnis des Abbaubetriebes²¹⁷ wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Kosten, die an den einzelnen Betriebsstellen entstehen. Erlöse werden i.d.R. vom Markt bestimmt und können vom Abbautreibenden nur selten beeinflusst werden. Anders verhält es sich bei den Kosten. Die Kostenfassung und -analyse ist deshalb ein unerlässliches Instrument der Ergebnisgestaltung.

Im Folgenden soll auf diese beiden auch für einen Kies- und Sandabbau wichtigen Themen näher eingegangen werden.

7.1 Bewertung einer Lagerstätte

7.1.1 Definition Verkehrswert

Ziel der Bewertung einer Lagerstätte ist die Feststellung von deren Verkehrswert. Dieser entsteht „durch den Wunsch eines Subjektes das Objekt in Besitz zu nehmen“²¹⁸. Der zunächst subjektive Wert ist zumindest im öffentlich-rechtlichen Bereich zu objektivieren, z.B. durch Vergleich mit mehreren Marktpreisen, die für ähnliche Objekte in der Vergangenheit gezahlt worden sind. Dabei ergibt sich eine Preisspanne, die erfahrungsgemäß mit ca. $\pm 20\%$ um den objektiven Wert schwanken kann.

Vom Wert zu unterscheiden ist der Preis, der für ein Objekt bezahlt wird. Andere gleichbedeutende Bezeichnungen für den objektiven Wert sind Verkehrswert, gemeiner Wert oder auch Marktwert. Der Preis unterscheidet sich oftmals vor allem durch spekulative Argumente vom objektiven Wert. „Ungewöhnliche oder persönliche Verhältnisse sind bei der Wertbestimmung nicht zu berücksichtigen“²¹⁹. Der gemeine Wert eines Objektes, ein Begriff des Preußischen Allgemeinen Landrechts von 1794, ist der Nutzen, den das Objekt dem Besitzer gewähren kann.

Der Verkehrswert ist ein Begriff des Baugesetzbuches, der „durch den Preis bestimmt wird, der in dem Zeitpunkt, auf den sich die Ermittlung bezieht, ohne Rücksicht auf ungewöhnliche oder persönliche Verhältnisse zu erzielen wäre“.

Bei der Verkehrswertermittlung sind etwaige Rechte und Belastungen an Grundstücken zu berücksichtigen, wie:

- gesetzliche Beschränkungen öffentlich-rechtlicher und privatrechtlicher Art,
- grundstücksgleiche Rechte, z.B. Erbbaurecht,
- beschränkt dingliche Rechte, z.B. Nutzungsrechte, Sicherungs- und Verwertungsrechte, Verfügungs- oder Erwerbsrechte.

7.1.2 Verkehrswert von Grundstücken mit Bodenschätzen

Die Berechtigung des Grundstückseigentümers, Bodenschätze abzubauen ergibt sich gemäß BGB §903 und § 905.

Im Falle der Bewertung von Grundstücken mit Bodenschätzen sind diese als werterhöhender Faktor zu berücksichtigen, wenn der gewöhnliche Geschäftsverkehr sie als werterhöhenden Faktor ansieht, d.h. wenn der

Nachweis der Bauwürdigkeit erbracht ist und einem Abbau keine rechtlichen Hindernisse entgegenstehen.

Vor Einbeziehung der Bodenschätze in die Wertermittlung muss deshalb immer geprüft werden, ob ein zukünftiger Abbau oder eine Erweiterung eines bestehenden Abbaus planfestgestellt und der Abbau zugelassen werden kann. Der Planfeststellungsbeschluss für einen Abbau muss zum Zeitpunkt der Bewertung jedoch nicht vorliegen.

Die Bewertung von Grundstücken mit Bodenschätzen kann auf vier verschiedene Arten erfolgen²²⁰.

7.1.2.1 Vergleich mit Kaufpreisen von Vergleichsgrundstücken

Ein Bewertungsverfahren basiert auf dem Vergleich von Kaufpreisen von Vergleichsgrundstücken. Dabei wird nicht der Verkehrswert ermittelt, sondern der tatsächlich für Vergleichsgrundstücke entrichtete Kaufpreis als Kriterium herangezogen

Diese Methode wird vorzugsweise vom Fiskus vorgenommen, um die steuerlich geltend gemachte Bewertung zu überprüfen und ggf. zu berichtigen. Dem Fiskus liegt eine hohe Zahl von Kaufpreisen aus der engeren und weiteren Umgebung der zu bewertenden Lagerstätte vor.

Nachteilig bei dieser Methode ist allerdings, dass die zu bewertende Lagerstätte nicht individuell betrachtet wird und beispielsweise unterschiedliche Mächtigkeiten oder Kornzusammensetzungen über einen Kamm geschoren werden.

7.1.2.2 Ermittlung anhand von Bodenrichtwerten

Ein anderes Bewertungsverfahren stellt den Kaufpreis anhand von Bodenrichtwerten fest. Bei dieser Methode wird, wie bei der steuerlichen Bewertung von bebauten Grundstücken anhand von Mieteinnahmen pro Jahr, ein Mehrfaches des Bodenrichtwerts angesetzt. Der anzusetzende Faktor beträgt das 2 bis 5fache des jeweiligen Bodenrichtwerts.

7.1.2.3 Ermittlung anhand des Ertragswertes von Ackerland

Ein anderer Ansatz ist der 3fache Wert des Ackerlandes. Bei Anwendung der Methode anhand des Bodenrichtwertes bzw. des Ertragswertes bleiben ebenfalls die individuellen Eigenschaften des zu bewertenden Grundstückes und seiner Lagerstätte unberücksichtigt.

7.1.2.4 Verkehrswertermittlung durch Feststellung von Sach- und Ertragswert

Der Verkehrswert eines Grundstückes mit Bodenschätzen wird am sinnvollsten anhand des zu erwirtschaftenden Zukunftserfolges und des sich daraus ableitenden Sach- und Ertragswertes ermittelt.

Hierunter wird der gemeine Ertragswert des Abbaubetriebs der ggf. mit einem Vorkaufsrecht belasteten Grundstücke am Ende des Abbaus verstanden unter der Voraussetzung, dass der Betrieb von dem Käufer der Flächen über den Bewertungsstichtag hinaus über die wirtschaftliche Lebensdauer des Abbaues fortgeführt wird. Weiter wird davon ausgegangen, dass beim Käufer des Nutzungsrechts zusätzlich zur Kaufsumme ausreichend Liquidität vorhanden ist, um die erforderlichen Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen zu beschaffen bzw. zu optimieren und weiterhin zu betreiben. Ferner wird davon ausgegangen, dass sämtliche für die Fortführung des Betriebes bestehenden Rechte an der Kiessandgewinnung auch nach Übergang des Kaufgegenstandes Bestand haben.

Der Verkehrswert ergibt sich aus:

- dem Ertragswert, d.h. dem auf den Bewertungsstichtag abgezinsten Zukunftserfolg, dem sog. Barwert des genehmigten Abbaus,
- dem Sachwert etwaiger unverritzter Restflächen sowie der rekultivierten Flächen oder Wasserflächen am Ende des Abbaus,
- je nach vereinbarter Folgenutzung evtl. Pachten infolge von Nutzung abgebauter Flächen durch den Verkäufer.

Der Verkehrswert der zu bewirtschaftenden Fläche wird weiter unter der Voraussetzung ermittelt, dass der Käufer das Grundstück zum Bewertungsstichtag erwirbt. Etwa vorhandene Sachwerte, z.B. rekultiviertes Gelände, und Lasten wie z.B. Straßenbau und -unterhaltung werden abgeschrieben und ggf. entsprechend der Restnutzungsmenge auf den Verkehrswert angerechnet.

7.1.3 Bewertung von Tagebaubetrieben

Die Bewertung von Tagebaubetrieben beinhaltet eine Gesamtbewertung von Lagerstätte und Betriebseinrichtungen. Im Falle von unverritzten Grundstücken oder von Erweiterungsflächen werden die für die Produktherstellung erforderlichen Betriebseinrichtungen angenommen und deren Kosten geschätzt.

Nach der Bestimmung werden unterschieden:

- der Ertragswert des Zukunftserfolgs sowie
- der Substanzwert.

7.1.3.1 Ertragswert

Der Ertragswert betrachtet den Zukunftserfolg eines Abbaus. Der sog. Zukunftserfolgswert ist der auf den Bewertungsstichtag bezogene Barwert der Netto-Überschüsse der Abbautätigkeit, d.h. es werden die Erlöse aus dem Produktverkauf abzüglich der Kosten für die Produktherstellung einschl. etwaiger Rückverfüllungen im Zuge von Rekultivierungen sowie Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen gemäß landschaftspflegerischem Begleitplan sowie sonstigen Nebenbestimmungen des Planfeststellungsbeschlusses ermittelt.

Für den potentiellen Käufer handelt es dabei um den Kapitalwert der zu bewertenden Sache, bestehend aus Planung, Erwerb und Fortführung.

Wie schon oben in Zusammenhang mit den Gewinnungsverlusten diskutiert, hängt der Ertragswert erheblich von der Lebensdauer des Standorts ab. Der Zukunftserfolgswert U zum Zeitpunkt des Kaufübergangs berechnet sich nach folgender Beziehung²²¹:

$$U_{t_0} = \sum_{t=1}^{T_L} \ddot{U}_t q^{-t} - \sum_{t=1}^{T_L} \sum_{i=1}^n A_{i,t} q^{-t} \quad (7-1)$$

mit

U_{t_0} Zukunftserfolgswert zum Zeitpunkt des Kaufüberganges

$\ddot{U}_t$ Betriebsüberschuss im Jahr t

T_L Lebensdauer in Jahren

q^{-t} Abzinsungsfaktor auf Basis von T_L Jahren

$A_{i,t}$ Investitionen i im Jahr t .

Bei normalerweise gleichmäßig angenommenen jährlichen Netto-Überschüssen vereinfacht sich die Beziehung zu

$$U_{t_0} = \ddot{U}_J b_t - \sum_{t=1}^{T_L} \sum_{i=1}^n A_{i,t} q^{-t} \quad (7-2)$$

mit

$\ddot{U}_J$ jährlicher Betriebsüberschuss

b_t Rentenbarwertfaktor auf Basis von t Jahren.

Die Erfahrung zeigt, dass der Verkehrswert als Summe des so ermittelten Ertragswerts der tagebaulichen Tätigkeit und des Sachwerts (Bodenwert) niemals der Preis sein wird, zu dem der Kaufübergang erfolgt. Denn

Käufer wie Verkäufer erwirtschaften bei diesem Preis gerade die Verzinsung der Investition bzw. die Weiterführung des Betriebes, ohne dass der einen oder anderen Partei ein Vorteil aus Kauf bzw. Verkauf entsteht. Der Käufer hat also immer das Ziel, einen geringeren Preis als den festgestellten Verkehrswert zu entrichten, der Verkäufer dagegen einen höheren Preis zu erzielen.

7.1.3.2 Substanzwert

Der Substanzwert eines Tagebaubetriebes stellt die Summe der Vermögenswerte zum Bewertungsstichtag dar. Dabei ist in die Bewertung von abnutzbaren Vermögensanlagen und nicht abnutzbaren Vermögensgütern zu unterscheiden. Die Summe beider Werte ergibt den Brutto-Substanzwert. Der zu ermittelnde Netto-Substanzwert ergibt sich unter Berücksichtigung des Barwertes von sonstigen Zahlungsverpflichtungen des Tagebaubetriebes

7.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Das Ziel der nachfolgend dargestellten Wirtschaftlichkeitsanalyse ist es, die für eine Bewertung erforderlichen wirtschaftlichen Kennwerte von Abbauanlagen zu ermitteln und auf Grundlage des Vergleiches dieser Werte eine optimale Anlagenvariante zu ermitteln.

Die Verfahren der Wirtschaftlichkeitsanalyse lassen sich in statische und dynamische Berechnungsverfahren unterteilen. Die Verfahren der statischen Investitionsrechnungen, wie

- Kostenvergleichsrechnung,
- Gewinnvergleichsrechnung,
- Rentabilitäts- oder Amortisationsrechnung

sind im Vergleich zu den dynamischen Methoden einfacher durchzuführen und hinsichtlich der Informationsbeschaffung weniger aufwändig. Mit den statischen Verfahren lassen sich Alternativen mit einmaligen Investitionen und identischen Nutzungszeiträumen und Anschaffungssummen vergleichen.

Da in der Lockergesteinsindustrie Planungszeiträume von mehr als 20 Jahren üblich sind und aufgrund von unterschiedlichen Nutzungszeiträumen, Anschaffungssummen, variablen Kosten, Preissteigerungen und Ersatzinvestitionen die Zahlungsreihen innerhalb dieser Berechnungszeiträume für unterschiedliche Anlagenvarianten sehr stark variieren, sind

die Verfahren der statischen Investitionsrechnungen zum Vergleich von Handlungsalternativen weniger geeignet.

Die Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnungen berücksichtigen den Zeitpunkt der Ausgaben und Einnahmen, notwendige Ersatzinvestitionen, Preis- und Erlösveränderungen sowie unterschiedliche Nutzungszeiträume verschiedener Abbauanlagen durch die Aufteilung der Zahlungsflüsse in Zahlungsreihen.

7.2.1 Kenngrößen der dynamischen Investitionsrechnung

Entscheidend für alle zu berechnenden Kenngrößen der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die Dauer des Planungszeitraums T_L . Diese ist abhängig von der wirtschaftlichen Lebensdauer des jeweiligen Tagebaubetriebs, und wird durch folgende Gleichung ermittelt:

$$T_L = \frac{(A_G - A_S)(Z_{L,m} - Z_{GV})}{Q_{\text{eff}}} \quad (7-3)$$

mit

A_G Lagerstättenfläche

A_S Fläche für Bermen, Bodendenkmäler
Sicherheitsflächen für Gebäude, Aufbereitungsanlagen u.a.

$Z_{L,m}$ mittlere Lagerstättenmächtigkeit unter Berücksichtigung der Abbauverluste

Z_{GV} gerätespezifischer Gewinnungsverlust unter Berücksichtigung der Lagerstättenverhältnisse

Q_{eff} jährliche Abbauleistung des Gewinnungsgerätes.

Nachfolgend werden die einzelnen Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsanalyse sowie deren Berechnungsmethoden erläutert. Es wird von einem vollkommenen und unbeschränkten Kapitalmarkt ausgegangen. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass der Betrieb zu einem festgelegten Kalkulationszinssatz in unbeschränkter Höhe Finanzmittel aufnehmen und anlegen kann.

Kapitalwert C_K

Der Kapitalwert wird überwiegend als die entscheidende Kenngröße bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse betrachtet. Bei der Kapitalwertmethode werden die Betriebsüberschüsse auf den Investitionsbeginn diskontiert und die Investitionssumme davon abgezogen. Investitionen mit negativem Kapitalwert sind unwirtschaftlich und sollten daher nicht realisiert werden.

$$C_K = \sum_{t=0}^{T_L} (\ddot{U}_t - A_t) (1+p)^{-t} + R (1+p)^{-T_L} \quad (7-4)$$

mit

T_L wirtschaftliche Lebensdauer des Tagebaubetriebes

t Berechnungsjahr vom Beginn der Investition

$\ddot{U}_t$ Betriebsüberschuss im Jahr t

p Kalkulationszinssatz

A_t Anschaffungsaufwendungen im Jahr t

R Restwert der Anlage.

Endwert C_E

Die Endwertmethode bestimmt das mit der Handlungsalternative zu schaffende Vermögen. Im Vergleich zur Kapitalwertmethode wird der jährlich erwirtschaftete Betriebsüberschuss auf den Endzeitpunkt aufgezinst. Bei einem positiven Endwert ist die Investition als wirtschaftlich anzusehen.

$$C_E = \sum_{t=0}^{T_L} (\ddot{U}_t - A_t) (1+p)^{T_L-t} + R \quad (7-5)$$

Interner Zinsfuß p

Der interne Zinsfuß entspricht der Verzinsung des investierten Kapitals und lässt sich berechnen, indem in Gleichung 7-5 der Kapitalwert zu 0 gesetzt wird. Anschließend wird der Zinssatz p iterativ berechnet. Eine Investition ist wirtschaftlich, wenn der interne Zinsfuß die vom Betrieb vorgegebene Mindestverzinsung erreicht oder überschreitet.

$$0 = \sum_{t=0}^{T_L} (\ddot{U}_t - A_t) (1+p)^{-t} + R (1+p)^{-T_L} \quad (7-6)$$

Dynamische Amortisationsdauer T_{AD}

Die dynamische Amortisationsdauer entspricht dem Zeitpunkt, an dem das investierte Kapital durch die erzielten Erlöse wieder herein gewonnen wird. Zur Berechnung wird in Gleichung 7-6 der Kapitalwert zu 0 gesetzt und mittels Iteration die dynamische Amortisationsdauer bestimmt. Wenn innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Amortisation der Investition erfolgt, ist die Handlungsalternative unwirtschaftlich.

$$0 = \sum_{t=0}^{T_{AD}} (\ddot{U}_t - A_t) (1+p)^{-t} + R (1+p)^{-T_{AD}} \quad (7-7)$$

mit
 T_{AD} dynamische Amortisationsdauer.

Annuität C_{AN} des Kapitalwertes

Die Annuität des Kapitalwertes entspricht dem jährlichem Durchschnittsergebnis einer Investition. Dazu wird der Kapitalwert auf ein durchschnittliches Jahresergebnis umgerechnet. Eine Investition ist wirtschaftlich, wenn die Annuität positiv ist.

$$C_{AN} = C_K \frac{(1+p)^{T_L} p}{(1+p)^{T_L} - 1} \quad (7-8)$$

Spezifische Herstellkosten k_H

Die spezifischen Herstellkosten entsprechen den auf die gewonnenen Massen bezogenen Kosten einer Abbaumaßnahme. Dieses Kriterium lässt allerdings keine Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu, da die durch die unterschiedlichen Gewinnungsverluste der verschiedenen Gewinnungsgeräte differierenden Erlöse nicht berücksichtigt werden. In der Praxis wird dieses wirtschaftliche Kriterium mittels eines simplen Kostenvergleiches trotz dieser Kritik jedoch häufig verwendet.

$$k_H = \frac{\sum_{t=0}^{T_L} \left(\sum_{j=1}^{n_G} K_{j,t} (1+p)^{-t} \right)}{\sum_{t=0}^{T_L} Q_{eff,t}} \quad (7-9)$$

mit
 $K_{j,t}$ Einzelkosten
 n_G Anzahl der berücksichtigten Geräte einer Variante.

7.2.2 Einflussgrößen der Investitionsrechnung

Der Betriebsüberschuss $\ddot{U}$ im Jahr t ergibt sich aus der Bilanzierung der Erlöse und Kosten zu:

$$\ddot{U}_t = \sum_{i=1}^n E_{i,t} - \sum_{i=1}^n K_{i,t} \quad (7-10)$$

mit
 $E_{i,t}$ Einzelerlöse im Jahr t
 $K_{i,t}$ Einzelkosten im Jahr t .

Nachfolgend werden die Kosten und Erlöse dargestellt und erläutert, die in der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt werden.

7.2.2.1 *Fixe Kosten*

Geräteanschaffung

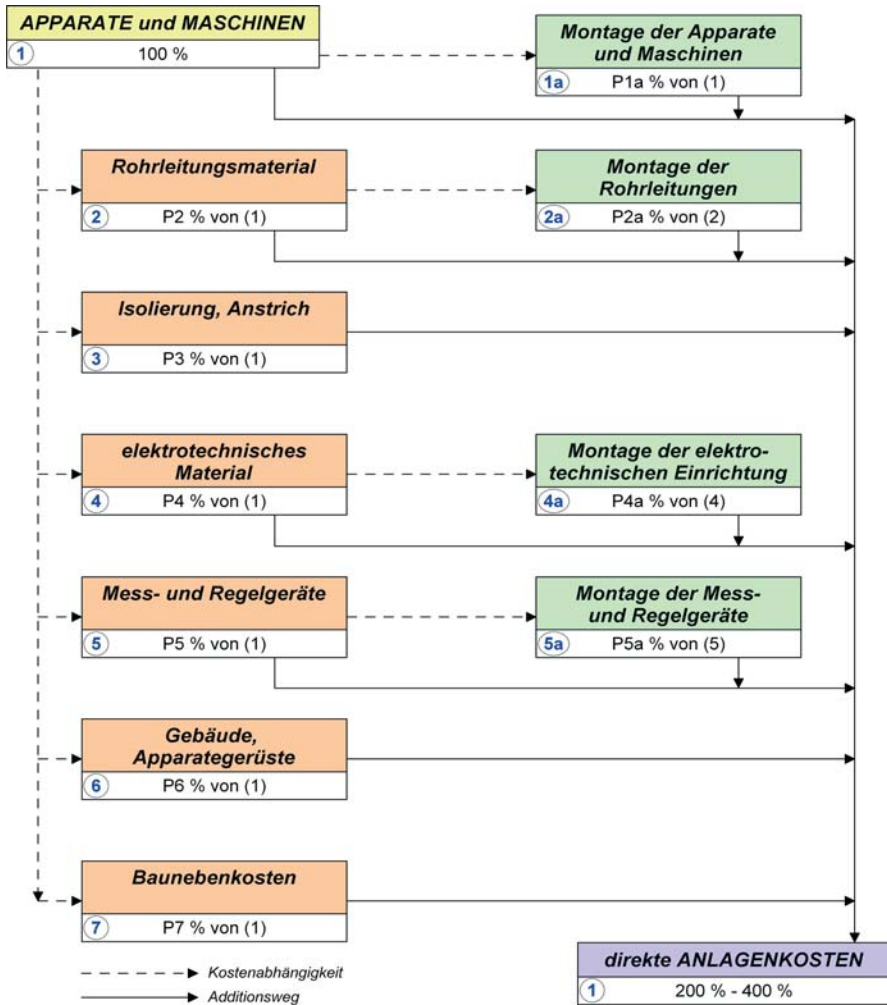
Die Anschaffungspreise der Komponenten einer Abbauanlage ergeben sich anhand der technischen Auslegungsgrößen aus Tabellenwerken wie der deutschen Baugeräteliste (BGL) oder der niederländischen Gerätestandard-Liste ²²² (sog. Ciria Liste) die von der Int. Association of Dredging Companies (IADC) erarbeitet wurde, die die niederländische Baugeräteliste NIVAG ²²³ seit 2006 ersetzt. Neben dem Abbausystem sind alle weiteren Hilfs- und Nebenanlagen sowie –ausrüstungen zu berücksichtigen. In Abb. 7-1 ist ein Schema dargestellt für die zur Ermittlung der Investitionssumme erforderlichen Zuschläge ²²⁴.

Der Anschaffungspreis eines Gerätes kann sich u.U. aus den Einzelpreisen mehrerer Teilsysteme zusammensetzen. So berechnet sich der Anschaffungspreis, z.B. eines Hydraulikbaggers, aus dem Preis für das Raupen- oder Reifenfahrwerk sowie für den Hydraulikbaggeraufsatz.

Eine Vorkalkulation der Investitionssumme kann aufgrund der Einzelinvestitionssummen erfolgen. Im einfachsten Lösungsansatz wird die Summe der Einzelinvestitionen I mit einem pauschalen Zuschlagsfaktor λ multipliziert.

$$I = \lambda \sum_i A_i \quad (7-11)$$

In dem pauschalen Zuschlagsfaktor λ werden die Aufwendungen für Nebenausrüstung, Transporteinrichtungen (Rohrleitungen, Förderbänder), elektrotechnische und automatisierungstechnische Ausrüstungen, bautechnische Maßnahmen, wie Montage/Errichtung und Inbetriebnahme, sowie sonstige Positionen erfasst. Die Genauigkeit der Kalkulation ist naturgemäß von der Genauigkeit der Erfahrungswerte für den pauschalen Zuschlagsfaktor für den jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Als allgemeine Orientierung kann bei verfahrenstechnischen Anlagen für Feststoffe von einem Wert λ im Bereich 2,5 3,5 ausgegangen werden.

Abb. 7-1 Kalkulationsschema ²²⁵

Im Rahmen der Planungssysteme ALOG[®] und DIMAN[®] wurden die in den technisch-wirtschaftlichen Tabellenwerken BGL 1987, BGL 1991, BGL 2000 und NIVAG enthaltenen Wertepaare mittels Polynomapproximation in Kostenfunktionen überführt. Von den Tabellenwerken abweichende Preise, wie z.B. besondere Marktkonditionen oder Mehrpreise für Sonderanfertigungen können im Programm berücksichtigt werden. Diese werden dann anstelle der berechneten Preise für die Wirtschaftlichkeitsanalyse verwendet.

Ersatzinvestitionen

Nach Ablauf der jeweiligen Gerätevorhaltezeit ist eine Ersatzanschaffung der Gewinnungs-, Förder- oder Voraufbereitungsgeräte erforderlich. Die Vorhaltezeit der einzelnen Geräte entspricht der Zeit, die ein Gerät in Abhängigkeit der Betriebsstunden einsetzbar ist, und ist wie der Anschaffungspreis in den standardisierten technisch- wirtschaftlichen Tabellenwerken aufgeführt. Oftmals werden in der Bauindustrie die Geräte deutlich länger als die dort ausgewiesene Vorhaltezeit betrieben. Dies führt jedoch zu einem deutlichen Anstieg der Reparatur- und Instandhaltungskosten, die in der Summe häufig den Ersatzinvestitionen entsprechen²²⁶.

Restwert

Um Geräte mit unterschiedlichen Vorhaltezeiten miteinander vergleichen zu können, wird am Ende des Berechnungszeitraums der Restwert bzw. Liquidationserlös der jeweiligen Geräte berücksichtigt.

Flächenerwerb

Für den Kauf von Neu- oder Erweiterungsflächen ist in Abhängigkeit der Rohstoffmenge und -qualität ein Kaufpreis zu entrichten.

Erkundungskosten

Die Erkundungskosten werden im Vorfeld des Abbauvorhabens fällig und sind abhängig vom Umfang und der Art der Untersuchungen.

Genehmigungskosten

Für unverritzte Abbauf Flächen fallen Kosten für das Genehmigungsverfahren an. Diese Kosten werden analog zu den Erkundungskosten im Vorfeld eines Abbauvorhabens fällig.

Betriebseinrichtungs- und Betriebsräumungskosten

Zu den Betriebseinrichtungs- und Betriebsräumungskosten zählen Kosten für Einrichtung und Abbau der zu installierenden Anlage wie Mobilisierungskosten, Montage- und Demontagekosten.

Rekultivierungskosten

Die Kosten der in den Genehmigungsaufgaben vorgeschriebenen Rekultivierungsmaßnahmen am Ende des Abbauvorhabens oder bei Abschluss eines Teilvorkommens werden den Gesamtkosten hinzugerechnet.

7.2.2.2 Variable Kosten

Reparaturkosten

Die Reparaturkosten ergeben sich durch die in den technisch-wirtschaftlichen Tabellenwerken angegeben prozentualen Anteile der Anschaffungssummen (des mittleren Neuwertes). Die Reparaturkosten beinhalten alle Kosten, die in direktem Zusammenhang mit der Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft des Gerätes stehen, wie Instandhaltung, Instandsetzung, Grund- und Schlussreparatur.

Bei der hydraulischen Förderung sind im Vergleich zu den mechanischen Förderverfahren die Verschleißkosten vermehrt von dem zu fördernden Material, insbesondere dessen Genese und Kornform, abhängig. Die CIRIA-Liste beispielsweise basiert auf Sand mit einem mittleren Korndurchmesser $d_{50} = 260 \mu\text{m}$. Daher ist es oftmals im Falle der Kiessandgewinnung unabdingbar notwendig, unabhängig von den tabellierten Reparaturkostenansätzen die materialabhängige, maximal mögliche Nutzungsdauer der Verschleißteile, insbesondere der Rohrleitung T_R zu berechnen.

Energiekosten

Die Energiekosten setzen sich aus Brennstoff- und Stromkosten zusammen. Die Energiekosten werden in Abhängigkeit von der Antriebsart und dem durch die Dimensionierung ermittelten Leistungsbedarf berechnet. Beim elektrischen Antrieb ist zum Arbeitspreis für die entnommene Strommenge i.d.R. ein pauschaler Grundpreis in Abhängigkeit von der installierten maximalen Leistung zu entrichten.

Den Energiekosten werden die Kosten für Schmierstoffe pauschal zugeschlagen. Der Zuschlag variiert in Abhängigkeit von der Art des Gewinnungsgerätes zwischen 5 % (z.B. Greiferbagger) und 15 % (z.B. Eimerkettenbagger) der Energiekosten.

Personalkosten

Die jeweils notwendige Anzahl Arbeitskräfte werden in Abhängigkeit von Geräteanzahl, -größe und -typ ermittelt. Die Lohnkosten einschl. der Lohnnebenkosten basieren auf einer Mittellohnkalkulation der jeweils erforderlichen Besatzung einschl. des örtlichen Aufsichtspersonals (Schachtmeister, Polier, Schichtleiter).

Weiter sind hier die Gehalts- und Gehaltsnebenkosten für die Betriebsstellenleitung einzurechnen.

Rohstoffkosten (Förderzins)

Die Rohstoffkosten sind an die Grundstückseigentümer und/oder die Bergbehörde zu entrichtende mengenabhängige Kosten für die Entnahme-

erlaubnis von Rohstoffen, falls diese nicht bereits durch den Flächenerwerb (Bergwerkseigentum) abgegolten wurden.

Des Weiteren sind Kosten durch Abgaben/Gebühren, z.B. für Wasserentnahme und -einleitung zu berücksichtigen.

Hilfsmittelkosten

Zu den Hilfsmittelkosten zählen sämtliche Kosten an Verbrauchsmitteln, die zusätzlich zu den vorstehend aufgeführten Kosten zu entrichten sind einschließlich ggf. Flockungsmittel für die Wasseraufbereitung..

Kosten für Versicherung

Zu den Kosten für Versicherung zählen u.A.:

- Geräteversicherung (Maschinenbruch, Totalverlust),
- Gewässerschädenversicherung (z.B. auslaufendes Öl),
- Haftpflichtversicherung (Schäden Dritter).

Geschäftskosten, Wagnis und Gewinn

Zu den Geschäftskosten gehören Kosten für die allgemeine Verwaltung, Wagnis und Gewinn sowie Rücklagen für unvorhersehbare Kosten. Diese Kosten werden als Zuschlag auf die Summe von fixen und variablen Kosten angesetzt. Der Zuschlag beträgt i.d.R. zwischen 8 % - 15 % der variablen und fixen Herstellkosten.

Nach Summierung der Herstellkosten mit dem Zuschlag für Geschäftskosten erhält man die Selbstkosten des Gewinnungsbetriebes.

7.2.3 Erlöse

Der Erlös frei Vorhalde wird zur betriebsinternen Verrechnung verwendet und bezieht sich auf das gewonnene, geförderte und ggf. voraufbereitete Material. Der Verkaufserlös ist abhängig von der regionalen Marktsituation und der Korngrößenverteilung des Rohmaterials.

7.2.4 Zeitlicher Verlauf des erwirtschafteten Ergebnisses

Der Verlauf der Kosten und Erlöse wird zur rechnergestützten Realisation in jährliche Zahlungsströme unterteilt. Abb. 7-2 zeigt beispielhaft die errechnete Ergebnisreihe einer Abbauanlage mit einer Laufzeit von 35 Jahren.

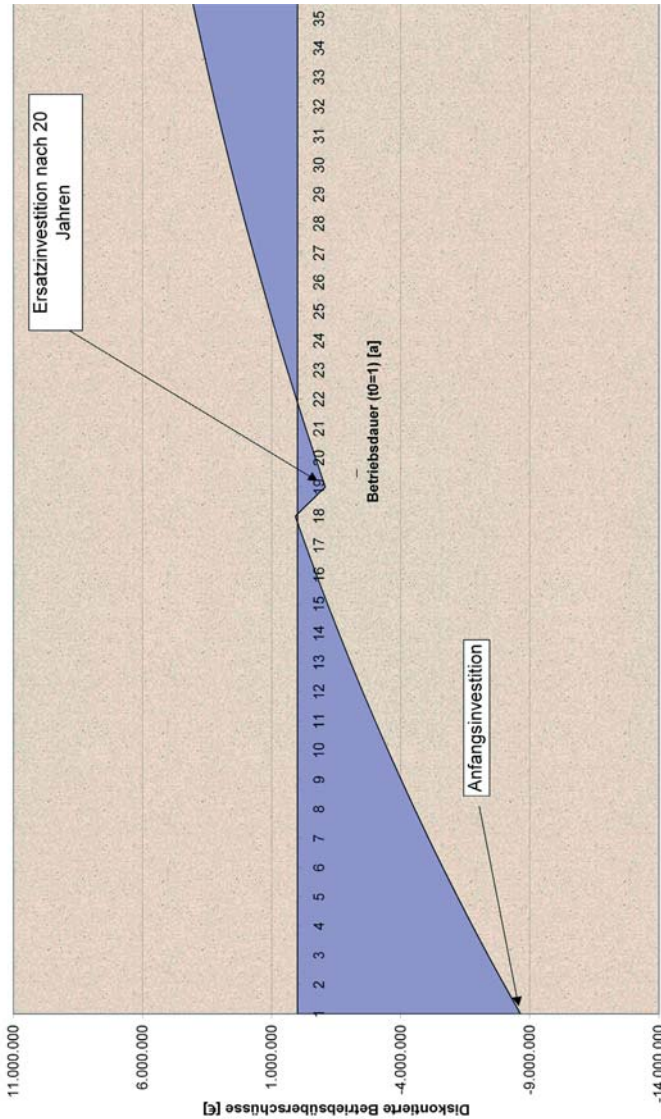


Abb. 7-2 Zahlungsreihe einer beispielhaften Abbauanlage

Anhand der Abbildung sind die erforderliche Anfangsinvestition und die Ersatzinvestition eines Teilsystems nach ca. 18 Jahren der Abbauanlage unter Berücksichtigung der Restwerte des Abbausystems in Höhe von 5% der Investitionssumme zu erkennen.

Ausgehend von derartigen Zahlungsreihen werden die Wirtschaftlichkeitskenngrößen berechnet.

7.3 Komplexe Bewertung von Abbau- und Aufbereitungsanlagen

Entscheidungen im Zusammenhang mit Investitionsmaßnahmen sind unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, technischer und ökologischer aber auch sozialer Anforderungen herbeizuführen. Entsprechendes gilt auch häufig für Entscheidungen bei der Betriebsführung. Dies bedeutet, dass für die Beurteilung der jeweiligen Alternativen/Varianten der Anlagengestaltung oder Betriebsführung gleichzeitig mehrere Güte- bzw. Zielkriterien zu berücksichtigen sind. Schon die hinreichende Berücksichtigung nur eines der genannten Anforderungsbereiche, wie z.B. der Wirtschaftlichkeit, mit Hilfe eines einzigen Kriteriums ist meist nicht befriedigend möglich. Damit entsteht die Frage, mit welcher Vorgehensweise eine mehrkriterielle Bewertung und Entscheidungsfindung vorgenommen werden kann.

Prinzipiell sind zwei praktisch anwendbare Vorgehensweisen möglich.

1. Es wird ein Kriterium, dem man eine besondere Bedeutung beimisst, z.B. der Kapitalwert, ausgewählt und für dieses Kriterium wird die Forderung nach Erreichung eines Bestwertes gestellt. Für alle übrigen Kriterien werden zu erreichende Sollwerte vorgegeben. Dies können z.B. Werte für weitere Wirtschaftlichkeitskenngrößen, Grenzwerte von Emissionen, Verschleißwerte u.a. sein. Die Entscheidung wird zugunsten der Alternative mit dem Bestwert des ausgewählten Kriteriums getroffen.

Mit dieser Vorgehensweise wird das ursprünglich mehrkriterielle Problem auf ein einkriterielles Problem mit zusätzlichen Nebenbedingungen zurückgeführt.

2. Es wird ein Ersatzkriterium eingeführt, in dem die ursprünglichen Kriterien in geeigneter Weise zusammengefasst werden. Als günstigste (optimale) Alternative/Variante wird dann diejenige aufgefasst, die den Bestwert dieses Ersatzkriteriums besitzt. Sind für einzelne Kriterien Grenzwerte vorgegeben, die nicht unter- oder überschritten werden dürfen, so lassen sich derartige Forderungen ebenfalls berücksichtigen.

Die praktische Realisierung dieser Vorgehensweise ist die sog. Nutzwertanalyse (Abb. 7-3), deren Anwendung in der Kies- und Sandindustrie insbesondere von Köbke¹⁴⁰ dargestellt wurde.

Auch bei der Nutzwertanalyse wird letztendlich ein einkriterielles Entscheidungsproblem formuliert. Im Gegensatz zu 1. wird jedoch nach einem akzeptablen Kompromiss bezüglich der gleichzeitig bestmöglichen Erfüllung aller Güteanforderungen gesucht. Die Nutzwertanalyse ist daher gegenüber der Vorgehensweise nach 1. zu bevorzugen, auch wenn die Anwendung etwas aufwändiger ist.

Wegen ihrer potentiellen praktischen Bedeutung wird nachfolgend die Nutzwertanalyse mit ihren einzelnen Vorgehensschritten in den Grundzügen dargestellt.

Im ersten Schritt sind die Alternativen/Varianten unter denen die Auswahlentscheidung zu treffen ist zusammen zu stellen.

Im zweiten Schritt sind die Güte- bzw. Zielkriterien, die für die Auswahlentscheidung herangezogen werden sollen, in Gestalt eines Zielprogramms zu benennen. Hierbei empfiehlt sich der Aufbau eines Zielbaums in hierarchischer Vorgehensweise. Auf der obersten Ebene stehen Wirtschaftlichkeit, Technik, Ökologie in globaler Weise. Über mehrere Ebenen „nach unten“ gehend kann nun eine Aufgliederung dieser globalen Anforderungen und die Einführung differenzierender Kriterien erfolgen. Auf der untersten Ebene stehen dann möglicherweise 10 bis 15 Einzelkriterien, wie z.B. verschiedene Wirtschaftlichkeitskenngrößen, Zuverlässigkeits- und Verschleißkriterien, Emissionswerte für Stoffe und Lärm, Kriterien der Bedienbarkeit. Ein Beispiel für ein Zielprogramm ist in Abb. 7-3 angegeben worden.

Im dritten Schritt sind die Kriteriengewichte zu bestimmen, d.h. durch die Wahl von Gewichtungskoeffizienten ist auszudrücken, welchen Anteil jedes einzelne Zielkriterium an dem Gesamtzielkriterium besitzen soll. Die Wahl der Gewichtungskoeffizienten ist subjektiv geprägt und bringt die Präferenzen des Entscheidungsträgers zum Ausdruck. Es empfiehlt sich bei dieser Wahl den Zielbaum ebenfalls „von oben nach unten“ zu durchlaufen.

Im vierten Schritt ist für alle Alternativen/Varianten quantitativ anzugeben in welchem Maße die Zielkriterien erfüllt werden. Hierbei tritt die Situation ein, dass diese Angaben für manche Kriterien quantitativ, für andere jedoch zunächst nur qualitativ gemacht werden können. Bei quantitativer Darstellung liegen meist auch unterschiedlichen Einheiten vor. Aus diesen Gründen muss man eine Skalierung vornehmen. Dies kann durch Anwendung einer ordinalen oder kardinalen Skalierung erfolgen. Im Ergebnis erhält man für alle Kriterien die in einem einheitlichen Wertebereich dargestellten sog. Zielerträge.

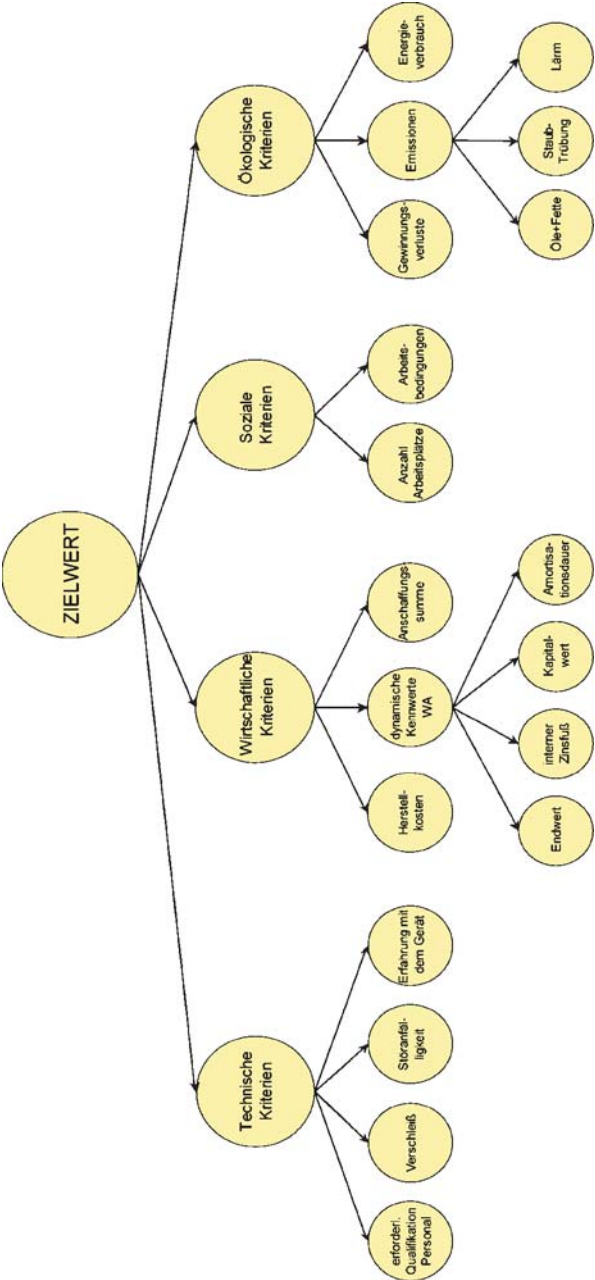


Abb. 7-3 Zielprogramm bei der Bewertung mittels Nutzwertanalyse

Im fünften Schritt werden durch Multiplikation von Zielerträgen und Kriteriengewichten die Zielwerte gebildet. Für jede Alternative/Variante der Anlagengestaltung oder Betriebsführung erhält man eine der Anzahl der Zielkriterien entsprechende Anzahl von Zielwerten.

Im sechsten und letzten Schritt werden die Zielwerte für jede Alternative/Variante addiert. Dies ergibt den Nutzwert, nach dem die gesamte Vorgehensweise benannt ist. Die Alternative mit dem höchsten Nutzwert wird als Bestlösung ausgewählt.

Die praktische Anwendung dieser Nutzwertanalyse wird durch folgende Umstände unterstützt:

- Es liegt ein klar strukturiertes Vorgehen vor und das Bearbeitungsschema mit den erforderlichen Tabellen kann direkt vorgegeben werden.
- Für einen bestimmten Anwendungsbereich, wie hier die Kies- und Sandindustrie, können wesentliche Teile, wie z.B. der Zielbaum, nach einmaliger Aufstellung vielfach wiederverwendet werden.
- Die insgesamt erforderlichen Rechenoperationen sind sehr einfach.

Durch Variation der Gewichtungskoeffizienten kann man sichtbar machen, ob bzw. in welchem Maße der Lösungsvorschlag von den hierzu ursprünglich getroffenen Annahmen abhängig ist. Auch der Einfluss der jeweiligen Skalierung lässt sich analysieren. Insgesamt kann man so eine weitgehende Absicherung des Lösungsvorschlags erreichen.

7.4 Fallbeispiel Ermittlung des angemessenen Förderzinses einer Quarzsandlagerstätte

7.4.1 Einleitung

Aufgabe des Fallbeispiels ist, einen für einen Bodenschatz angemessenen Förderzins zu ermitteln. Bei dem Bodenschatz handelt es sich um Quarzsand in einer nordwestdeutschen Lagerstätte.

7.4.2 Stratigraphische Zuordnung

Im Umkreis der zu bewertenden untersuchten Erweiterungsfläche sind drenthezeitliche glazifluviale Fein- bis Mittelsande oberflächennah verbreitet. Gelegentlich sind geringmächtige Grobsand- und Kieslagen eingeschaltet. Die Schluffgehalte sind i.d.R. gering. Abschnittsweise können la-

teral nicht weit aushaltende Bänder aus Schluff und Ton eingeschaltet sein. Dies tritt auch in metermächtiger Wechsellagerung auf, in der Schluff und Ton gegenüber dem Sand dominieren. Im Liegenden der drenthezeitlichen Sande kommen Quarzsande des höheren Pliozäns und tieferen Pleistozäns bereichsweise auch oberflächennah vor. Ähnlich den drenthezeitlichen Sanden weisen sie ein breites Kornspektrum auf, mit hohem Anteil von Fein- bis Mittelsand. Die Verwendungsmöglichkeiten sind dementsprechend vergleichbar.

Qualitätsmindernd wirken Verunreinigungen aus Holz- und Braunkohlepartikeln, wie sie lt. Auskunft des Betreibers auch im bestehenden Kieswerk auftreten. Die Gesamtmächtigkeit der Sande variiert zwischen einigen Metern und wenigen Zehnermetern.

7.4.2.1 *Aufbau der Lagerstätte*

Das Erweiterungsfeld ist unverritz und wird derzeit forstwirtschaftlich genutzt. Zur Beurteilung des Lagerstättenaufbaus standen Schichtenverzeichnisse zur Verfügung.

Schematisch kann die Lagerstätte mit den Teilfeldern B1, B2 und B3 demnach von oben nach unten wie folgt geologisch beschrieben werden (A= Abraum, SL = Sandlager, Z = Zwischenmittel):

A 0,3-1,1 m

humoser Mutterboden oder künstliche Auffüllung. Dieses wird aufgrund des anzunehmend hohen Gehaltes an organischen Bestandteilen (u.A. Durchwurzelung) und aufgrund des Schluffgehalts als Abraum betrachtet.

SL1 1,9-3,5 m

Feinsand, mittelsandig mit geringem Schluffgehalt. Nutzbarer Bodenschatz.

Z 0,0-5,9 m

Schluff bis Ton, meistens wechselgelagert mit Sand. Bedingt nutzbarer Bodenschatz. Wurde nur in zwei Bohrungen angetroffen.

SL2 22,3-33,8 m

Fein- bis Mittelsand, grobsandig mit geringem Schluffgehalt. Nutzbarer Bodenschatz. Nur 3 Bohrungen wurden bis zur geplanten Abbautiefe von 30 m abgeteuft.

Das Liegende der Lagerstätte ist durch dezimeter- bis metermächtige schluff- und tonreiche Lagen gekennzeichnet. Grundsätzlich ist die Lagerstätte als inhomogen zu betrachten.

7.4.2.2 Mengenabschätzung

Die Mengenabschätzung der gewinn- und nutzbaren Sandvorräte im Erweiterungs-feld erfolgt auf Grundlage von Kartenmaterial sowie der Ergebnisse der Bohrungen.

Hinsichtlich der Abbaugrenzen und Sollböschungsneigungen werden folgende Vorgaben berücksichtigt:

- Zum Fahrbahnrand der Kreisstraße muss ein Sicherheitsabstand von 30 m eingehalten werden, Zu den sonstigen Grenzen ein Abstand von 10 m. Somit ergibt sich eine Abbaufäche von 21,3 ha.
- Im vorliegenden Untersuchungsbericht wird für den Bereich des Trockenabbaus eine Sollböschungsneigung von $H:L=1:2$ als standsicher vorgegeben. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt nach Angaben des Betreibers bei ca. 3 m unter Gelände, entspr. ca. 7,5 m NN.
- Für den Bereich des Nassabbaus werden abweichend zum Untersuchungsbericht Sollböschungsneigungen der Unterwasserböschungen von $H:L=1:3$ angesetzt. Die im Untersuchungsbericht empfohlene Sollböschungsneigung von $H:L=1:2,5$ wird gemäß DIN für stehende Gewässer als standsicher angesehen. Für Sandböden mit erhöhtem Verflüssigungspotential, so wie sie in Nordwestdeutschland weit verbreitet sind, besteht aber ein höheres Risiko von Böschungsrutschungen, insbesondere bei Baggerseen, in denen, wie auch hier geplant, mit Saugbagger hereingewonnen werden soll.
- Die Höhe der Abbaubasis soll nach Angaben des Abbautreibenden bei maximal ca. 30 m u. Gelände entspr. ca. -19,5 m NN liegen. Nur im nordöstlichen Feldesteil wird der Abbau durch das Liegende begrenzt. Hier steigt die Abbaubasis auf -14,5 m NN an.

Die berechneten Mächtigkeiten schwanken zwischen 25 m im Nordosten und 30 m im Südwesten des Feldes. Die Menge an nicht verwertbaren Feinbestandteilen $< 63 \mu\text{m}$ aus den Zwischenmitteln wird pauschal in Höhe von 5 % des Gesamtvolumens veranschlagt. Dies entspricht in etwa dem Gehalt an Schluff und Ton über die gesamte erbohrte Mächtigkeit. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass gerätebedingte Gewinnungsverluste in Höhe von ca. 0,5 m auftreten.

Damit ergeben sich die in Tabelle 7-1 aufgelisteten Volumina. In der Erweiterungsfläche der zu bewertenden Quarzsandlagerstätte stehen gewinn- und nutzbare Vorräte in Höhe von ca. 3,87 Mio. m^3 , entsprechend ca. 7,16 Mio. t an.

Tabelle 7-1 Vorratsberechnung Fallbeispiel

	Einheit	Gesamt
Fläche Erweiterungsfeld	ha	25,2
Abbaufäche	ha	21,3
geologische Vorräte an Sand	m ³	7.870.000
./. Bestandteile < 63 µm in Höhe von 5 % des Gesamtvolumens	m ³	393.500
./. Abraum	m ³	129.000
./. genehmigungsrechtliche Abbauverluste in Böschungen und Bermen	m ³	3.371.000
Bergmännisch gewinnbare Vorräte	m ³	3.976.500
./. gerätebedingte söhlige Gewinnungsverluste (pauschal 0,5 m bei Verwendung eines Saugbaggers)	m ³	106.500
Gewinn- und nutzbare Vorräte	m ³	3.870.000
aufgehaltete Vorräte (Materialdichte in situ 1,85 t/m ³)	t	7.159.500

7.4.2.3 Qualität des abzubauenen Quarzsandes

Es wurde eine Analyse zur Bestimmung des Quarzgehaltes und der Feuerfestigkeit durchgeführt. Zusammenfassend ergibt die Analyse:

Quarzanteil in der Mischprobe	95,0	Ma.- %,
Tonmineral	1,2	Ma.- %,
Feldspat (Na-/Ka-)	3,2	Ma.- % ,
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0,14	Ma.- % ,
Kegelfallpunkt	32,0	bzw. 1.710 °C.

7.4.2.4 Nutzbarkeit der Lagerstätte

Aus dem anstehenden Bodenschatz lassen sich:

- Bausande,
- Füllsande sowie
- hochwertige nasse und trockene Quarzsande

herstellen.

Aufgrund der hohen Eisenanteile und für die Verwendung in der Glasindustrie geringen Quarzanteile ist die Verwendung des Quarzsandes nur

im Rahmen von Einfachglasherstellung (Flaschenglas, Tabelle 7-2) geeignet.

Tabelle 7-2 Grenzwerte an Eisen für die Glasindustrie

Glassorte	Grenzwert Fe ₂ O ₃ Massenanteil
Glühlampen, weiß	250 ppm
Linsenglas, weiß	300 ppm
Spiegelglas, weiß	0,1 Ma.-% (1.000 ppm)
Flaschenglas, weiß	0,3 Ma.-%
Flaschenglas, grün	1,0 Ma.-%
Flaschenglas, braun	4,0 Ma.-%

Um Qualitätsglas herstellen zu können, müsste zusätzlich eine sehr aufwändige Eisenabscheidung vorgenommen werden, um nach Trocknung, Raffinierung und Eisenabscheidung mittels korngestufte Siebung (ab > 63 µm bis 125 µm Trennkorngröße) in Spezialsandqualitäten zu klassieren.

Der erzielbare Marktpreis für dieses Produkt beträgt im untersuchten Fall ca. 13,00 €/t.

Entwässerter, d.h. feuchter Quarzsand mit einer üblichen Siebklassierung (ab > 0,5 mm bis 1mm Trennkorn) wird in der Gießereiindustrie verwendet. Der erzielbare Marktpreis für dieses Produkt beträgt ca. 7,00 €/t.

7.4.3 Gewinnungstechnik

In der Quarzsandgrube ist derzeit ein druckwasseraktivierter Grundsaugbagger mit einer installierten Gesamtleistung von ca. 200 kW im Einsatz. Das Gerät arbeitet im einschichtigen Betrieb und erreicht im Mittel ca. 120 t/h. Die derzeitige Jahresproduktion von rd. 50.000 t wird bei einem anzusetzenden Drehfaktor (s. Kapitel 5) von 70 % in ca. 660 Arbeitsstunden entsprechend 85 Arbeitstagen erreicht.

Die Gewinnungsanlage (Gewinnungs- und Fördergerät) entspricht hinsichtlich der Löse- und Gewinnungstechnik dem Stand der Technik. Die installierte Leistung ist für den derzeitigen Abbau als am Rande der Leistungsfähigkeit einzuschätzen und muss für den zukünftigen Abbau erheblich erhöht werden. Dies kann entweder über eine Druckerhöhungsstation erfolgen oder durch den Austausch des Pumpenantriebes. Zudem sind weitere Investitionen für eine Grundinspektion und eine verlängerte schwimmende Rohrleitung erforderlich. Bis zu Ende des neuen Abbaufeldes be-

trägt die maximale Förderentfernung zum derzeitigen Standort der Aufbereitungsanlage rd. 1.500 m.

Die Investition in neue schwimmende Rohrleitungen (rd. 1.200 m), Druckerhöhungsstation und Grundinstandsetzung des eingesetzten Gewinnungsanlage betragen rd. 355.000 € (Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3 Investitionssumme für den Umbau der vorhandenen Gewinnungsanlage

Gegenstand	Investitionssumme [€]
Druckerhöhungsstation (250kW)	95.000
Rohrleitung (1.300m schwimmend)	180.000
Generalinstandsetzung vorhandenes Gerät	55.000
Installation Druckerhöhungsstation/Rohrleitung	95.000
Summe	355.000

Demgegenüber beträgt die Investitionssumme einer neu anzuschaffenden Gewinnungsanlage rd. 900.000 € (Tabelle 7-4).

Tabelle 7-4 Investitionssumme für Neuanschaffung einer Gewinnungsanlage

Gegenstand	Investitionssumme [€]
Saugbagger (450kW)	420.000
Rohrleitung/Förderband (1.000m schwimmend, 50m Landband)	400.000
Abbaukontrolle	40.903
Installation Bagger/Rohrleitung	50.000
Summe	910.903

Die anteiligen Kosten der Gewinnung für Umbau bzw. Neuinvestition sind in Abhängigkeit von der Produktion in Tabelle 7-5 dargestellt. Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde davon ausgegangen das die vorhandene Gewinnungsanlage bei Beginn der Arbeiten im neuen Abbaug Gebiet bereits abgeschrieben ist.

Tabelle 7-5 Herstellkosten Gewinnungsanlage (Förderleistung max. 400.000t/a)

Produktion	Herstellkosten bei Umbau [€/t]	Herstellkosten bei Neuinvestition [€/t]
50.000 t/a	2,47	3,99
100.000 t/a	1,92	2,51
200.000 t/a	1,27	1,45

7.4.4 Aufbereitungstechnik

Bei der Aufbereitung des anstehenden Sandes wird eine Fallstudie mit 3 Szenarien angestellt:

- Produktion von Bausanden,
- Produktion von feuchten Quarzsanden geringer Güte,
- Produktion von trockenen Quarzsanden höchster Güte.

Nachfolgend werden die jeweiligen Anlagen kurz beschrieben und deren Investitionssummen und Herstellkosten abgeschätzt.

7.4.5 Aufbereitung von Bausanden

Zur Aufbereitung von Bausanden (Kies 2/X, Qualitätssand 0/2a, Füllsand 0/1, Mörtelsand 0/1) ist das per Grundsaugbagger gewonnene Rohmaterial in einem Schöpfrad zunächst zu entwässern. Aufgrund der hohen Feinanteile im Fördergut ist ein sog. Feinsandschöpfrad einzusetzen, um die Überlaufverluste zu minimieren.

Anschließend ist das Rohmaterial zu klassieren. Aufgrund des überwiegenden Sandanteils im Rohmaterial führt die Verwendung einfacher Schwingsiebe zu stark schwankenden Körnungsanteilen im Produkt. Der derart aufbereitete Bausand lässt sich in Folge dessen lediglich als Füllsand und Mörtelsand verkaufen.

Für einen qualifizierten höherwertigen Sand bzw. zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sollte die Körnungslinie des Sands mittels Aufstromklassierung o.ä. kontrolliert werden. Zudem können feinere Körnungsstufen (ab > 250 µm) produziert und somit kornabgestufte Spezialsand (250 µm – 500 µm, 500 µm – 1 mm. etc.) hergestellt werden.

Um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen, wurde eine erweiterte Aufbereitungstechnik mit einem Aufstromklassierer in Betrieb genommen.

Die Verkaufspreise betragen im Mittleren für:

- Mörtelsand 0/1 ca. 6,00 €/t,
- Füllsand ca. 3,50 €/t,
- Qualitätssand 0/2a ca. 10,00 €/t,
- Kies 2/x ca. 14,00 €/t

ab Werk.

Die anteiligen Kosten der Aufbereitung bei der vorhandenen Aufbereitungsanlage bzw. für eine adäquate Neuinvestition sind in Abhängigkeit von der Produktion in Tabelle 7-6 dargestellt. Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde davon ausgegangen, dass die vorhandene Aufbereitungsanlage bei Beginn der Arbeiten im neuen Abbaugebiet teilweise abgeschrieben ist.

Tabelle 7-6 Herstellkosten Aufbereitung Bausand

Produktion	Herstellkosten vorhandene Aufbereitungsanlage [€/t]	Herstellkosten Neuinvestition Aufbereitungsanlage [€/t]
50.000 t/a	2,00	3,21
100.000 t/a	1,49	1,85
200.000 t/a	0,86	1,27

7.4.5.1 Aufbereitung von feuchten Quarzsanden

Die Erstellung eines Anlagenfließbildes und Entwicklung einer Aufbereitungsmethodik ist ohne genaue Kenntnis der Produktspezifikation möglicher Kunden sowie in Ermangelung detaillierter Lagerstättenkenntnisse (Aufschlüsse, Laborversuche zu Schadstoffverhalten, Tonbindungsanalyse etc.) nicht durchführbar. Die nachfolgenden Analysen sind daher lediglich als eine Annäherung zu verstehen.

Die Investitionssumme für eine nasstechnische Quarzsandaufbereitung wird nach Angaben von Mitbewerbern im Raum NRW mit rd. 2.000.000 € abgeschätzt. Die Betriebskosten der Neuinvestition in eine nasse Quarzsandaufbereitung sind in Abhängigkeit von der Produktion in Tabelle 7-7 dargestellt.

Tabelle 7-7 Herstellkosten Aufbereitung nasser Quarzsand

Produktion	Herstellkosten Neuinvestition Aufbereitungsanlage [€/t]
50.000 t/a	9,28
100.000 t/a	4,88
200.000 t/a	2,55

7.4.5.2 Aufbereitung von trockenen Quarzsanden

Die Investitionssumme für eine Quarzsandaufbereitung mit thermischer Trocknung und Raffinierung wird mit ca. 5.000.000 € abgeschätzt. Die anteiligen Kosten der Neuinvestition für eine nasse Quarzsandaufbereitung in Abhängigkeit von der Produktion sind in Tabelle 7-8 dargestellt.

Tabelle 7-8 Herstellkosten Aufbereitung trockener Quarzsand

Produktion	Herstellkosten Neuinvestition Aufbereitungsanlage [€/t]
50.000 t/a	22,57
100.000 t/a	11,53
200.000 t/a	5,88

7.4.6 Ergebnis

Nachstehend wird eine Kosten-Erlösbetrachtung durchgeführt, um den angemessenen Förderzins ableiten zu können.

Die Kosten-Erlössituation orientiert sich nicht nur am Verkauf des Materials als Bausand sondern betrachtet ebenfalls einen Verkauf des Produktes als Quarzsand. Die Eignung wurde nachgewiesen.

7.4.7 Herstellkosten von Bausand

Nachfolgend ist die Kosten-Erlössituation der Grube bei Herstellung von Bausand im Eigen- und Fremdbetrieb (Lohnbaggerei) nachvollzogen. (Tabelle 7-9 und Tabelle 7-10).

Tabelle 7-9 Selbstkosten Bausand in €/t (bei Einsatz umgebafter Altgeräte)

	Produktion [t/a]			
	50.000	100.000	200.000	400.000
Gewinnung	2,47	1,92	1,27	0,85
Aufbereitung	2,00	1,49	0,86	0,66
Vertrieb (Radlader, Waage)	0,50	0,45	0,40	0,35
Zwischensumme	4,97	3,86	2,53	1,86
Geschäftskosten (10%)	0,55	0,42	0,28	0,21
Selbstkosten	5,52	4,28	2,81	2,07

Tabelle 7-10 Selbstkosten Bausand durch Dritte €/t (bei Einsatz von Neugeräten)

	Produktion [t/a]			
	50.000	100.000	200.000	400.000
Gewinnung	3,99	2,51	1,40	0,99
Aufbereitung	3,21	1,85	1,27	1,00
Vertrieb (Radlader, Waage)	1,00	0,70	0,65	0,60
Zwischensumme	8,20	5,06	2,92	2,59
Geschäftskosten (10%)	0,90	0,56	0,32	0,29
Selbstkosten	9,10	5,62	3,24	2,88

Der mittlere Erlös für Bausand betrug im Bewertungsjahr 5,87 €/t. Die in Tabelle 7-9 dargestellten Herstellkosten lassen sich nur mit teilweise bereits abgeschriebenen Geräten erzielen. Tabelle 7-10 zeigt die Selbstkosten im Falle, dass der Quarzsand mit Neugeräten bzw. von einem Dritten abgebaut und als Bausand verkauft wird.

Die Auswertung zeigt, dass die Selbstkosten für Bausand bei einer Investition in neue Geräte zwangsläufig höher sind als die Nutzung älterer, bereits abgeschriebener Anlagen. Es bedeutet zudem, dass der Abbautreibende im Fall einer Neuinvestition bei der derzeitigen Absatz- und Erlössituation bei einer in der Kiesindustrie üblicherweise veranschlagten Vollkostenrechnung einen Verlust von bis zu 3,00 €/t machen würde.

Die Variante der Selbstkosten Dritter (Lohnbaggerei) ist prinzipiell teurer als die mit teilweise abgeschriebenen Gewinnungs- und Aufbereitungsgeräten. Es lässt sich schlussfolgern, dass ein Dritter bei einer Produktion von Bausand weniger Förderzins zahlen kann als der gegenwärtige

Betreiber. Daher wird der Vertrieb von Bausand Dritter nicht weiter bei der Ermittlung des angemessenen Förderzinses herangezogen.

Die Tabellen zeigen, dass die spezifischen Selbstkosten mit zunehmender Produktion deutlich sinken. Die Höhe der Produktion sollte unter Berücksichtigung einer angemessenen Laufzeit des Abbaus erfolgen, der im vorliegenden Fall idealerweise bei 400.000 t/a bei ca. 20 Jahren liegen könnte.

7.4.7.1 Herstellkosten von nassem Quarzsand

Tabelle 7-11 zeigt die Selbstkosten im Falle, dass das Rohmaterial als nasser Quarzsand aufbereitet und vertrieben wird. Hierzu muss das Material entsprechend aufbereitet werden. Aufgrund der hohen Anforderung an konstante Materialzufuhr und der Gemischdichte muss hierbei zwangsläufig in eine neue Gewinnungsanlage investiert werden. Die Verladung wird zudem üblicherweise mit Siloanlagen und fest installierten Waagen vorgenommen, so dass die Herstellkosten für den Vertrieb ebenfalls steigen.

Bei einer Erlössituation von qualitativ hochwertigem nassem Quarzsand von rd. 7,00 €/t ist ein positiver Deckungsbeitrag erst ab einer Produktion von > 150.000 t/a zu erwarten.

Tabelle 7-11 Selbstkosten nasser Quarzsand €/t

	Produktion [t/a]			
	50.000	100.000	200.000	400.000
Gewinnung	3,99	2,51	1,45	0,85
Aufbereitung	9,28	4,88	2,55	2,01
Vertrieb (Radlader, Waage)	1,50	1,00	0,85	0,85
Zwischensumme	14,77	8,39	4,85	3,71
Geschäftskosten (10%)	1,62	0,92	0,53	0,41
Selbstkosten	16,39	9,31	5,38	4,12

7.4.7.2 Herstellkosten von trockenem Quarzsand

Tabelle 7-12 zeigt die Herstellkosten im Falle, dass das Rohmaterial als trockener Quarzsand aufbereitet und vertrieben wird. Analog zum Vorstehenden ergeben sich die in Tabelle 7-12 ausgeführten Selbstkosten (Stückkosten in €/t).

Tabelle 7-12 Selbstkosten trockener Quarzsand €/t

	Produktion [t/a]			
	50.000	100.000	200.000	400.000
Gewinnung	3,99	2,51	1,45	0,85
Aufbereitung	22,57	11,53	5,88	4,02
Vertrieb (Radlader, Waage)	1,50	1,00	0,85	0,85
Zwischensumme	28,06	15,04	8,18	5,72
Geschäftskosten (10%)	3,09	1,65	0,90	0,63
Selbstkosten	31,15	16,69	9,08	6,35

Die Verladung wird zudem üblicherweise mit Siloanlagen und fest installierten Waagen vorgenommen, so dass die Herstellkosten für den Vertrieb ebenfalls steigen.

Bei einer Erlössituation von qualitativ hochwertigem trockenem Quarzsand von ca. 13,00 €/t ist ein positiver Deckungsbeitrag erst ab einer Produktion von > 130.000 t/a zu erwarten.

7.4.8 Ermittlung des angemessenen Förderzinses

Nach Analyse der Kosten-/Erlössituation wird nachfolgend der angemessene Förderzins berechnet. Wie Tabelle 7-9 bis Tabelle 7-12 zeigt, ist die Höhe der Bausand- bzw. Quarzsandproduktion entscheidend für den Deckungsbeitrag. Nachfolgend wird daher ein mit der Produktion variabler Förderzins vorgeschlagen. Der bisherige Förderzins von 0,43 €/t dient als nicht zu unterschreitendes Minimum.

Die angesetzte Methodik zur Ermittlung des Förderzinses entspricht der Ertragswertbestimmung, bei der der abgezinste Zukunftserfolg (Barwert) herangezogen wird, um den angemessenen Förderzins zu bestimmen. Bei der Ertragswertbestimmung wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass der Verkäufer des Bodenschatzes am Zukunftserfolg partizipiert.

In der nachfolgenden Wertermittlung wurde neben den oben erwähnten Lagerstättendaten, Kosten und Erlösen von folgenden Ansätzen ausgegangen:

- Zinssatz i 6% p.a.,
- Lebensdauer 20 Jahre,
- minimaler Förderzins 0,43 €/t,

- maximaler Förderzins 10 % Marktwert des Verkaufsproduktes,
- Erschließungskosten zu Lasten Verkäufer.

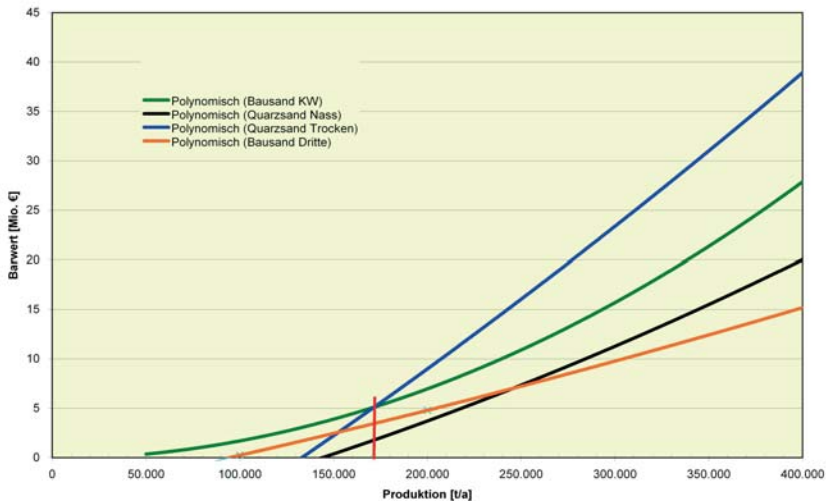


Abb. 7-4 Verkehrswert bei Produktion von Bausand sowie nassem und trockenem Quarzsand in Abhängigkeit von der Jahresleistung

Basierend auf den o.a. Ansätzen ergibt sich in Abhängigkeit der jährlichen Produktion der in Abb. 7-4 dargestellte Verkehrswert, bestehend aus dem Barwert von Ertrags- und Sachwert.

Es zeigt sich, dass sich ab einer Bausandproduktion (grüne Linie) von 50.000 t/a ein positiver Barwert ergibt. Das ist die Mindestproduktion, um unter den gegebenen Verhältnissen Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Bei der trockenen Quarzsandproduktion ist dies erst ab ca. 130.000 t/a der Fall. Allerdings ist die Steigung der Barwertfunktion aufgrund des höheren Erlöses größer als beim Bausand, so dass sich ab einer Produktion von rd. 170.000 t/a trockenem Quarzsand ein höherer Barwert einstellt.

Die Produktion nassen Quarzsandes erzielt aufgrund des relativ geringen Erlöses bei keiner Produktionsvariante einen höheren Barwert als bei Produktion von Bausand.

Oben wurde ausgeführt, dass der Käufer mehr bezahlen muss als den Verkehrswert. Eine 33 %ige Beteiligung des Verkäufers am Verkehrswert unterstellt, ergibt sich die in Abb. 7-5 dargestellte Förderzinssituation.

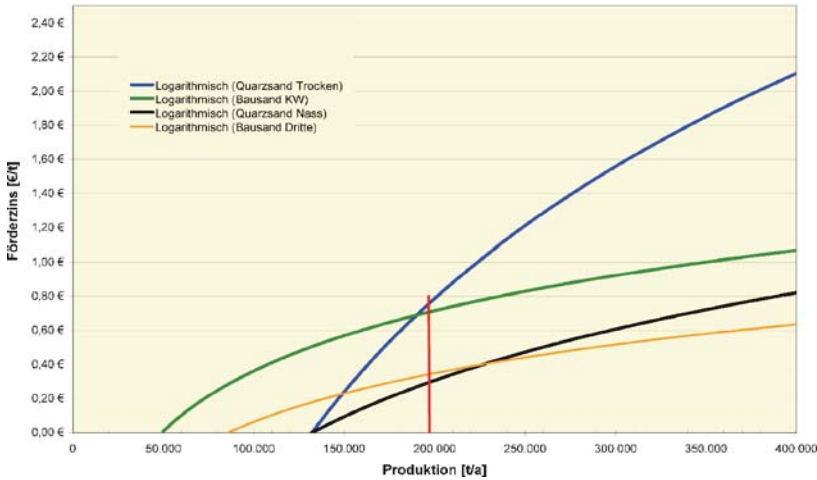


Abb. 7-5 Angemessener Förderzins in Abhängigkeit vom Produkt und Produktion

Bei der Variante Bausand ergibt sich ab einer Produktion von 110.000 t/a ein Förderzins von $> 0,43$ €/t, d.h. der vertraglich vereinbarte minimale Förderzins kann gemäß der ermittelten Kurve in Abhängigkeit von der jährlichen Produktion höher festgesetzt werden.

Der mögliche Förderzins von trockenem Quarzsand ist bis zu einer Produktion von rd. 180.00 t/a geringer als der von Bausand. Dann steigt dieser jedoch deutlich steiler an. Bei der Förderzinsermittlung des Quarzsandes wurden davon ausgegangen, dass die Gewinnung und Aufbereitung unmittelbar als Ersatz für die Bausandproduktion anschließt. Eine verzögerte Produktion verringert aufgrund des Abzinsungsfaktors den Förderzins u.U. erheblich (10 Jahre ca. 25 %, 20 Jahre 50 %).

8 Anhang

8.1 Anhang 1: Verzeichnis der angewandten Gesetze und Vorschriften

BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	
----------	-------------------------	-----------------------	--

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG)^{[1] [2]} vom 25. März 2002. Zuletzt geändert durch Art. 3 Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden-UmsetzungsG³ vom 10. 5. 2007 (BGBl. I S. 666)
(BGBl. I S. 1193) FNA 791-8

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 167 Achte Zuständigkeit-sanpassungsVO	25. 11. 2003	BGBl. I S. 2304	§§ <u>48</u> , <u>52</u>
2.	Art. 5 EuroparechtsanpassungsG Bau	24. 6. 2004	BGBl. I S. 1359	§ <u>21</u>
3.	Art. 2 G zur Neuordnung des Gentechnikrechts	21. 12. 2004	BGBl. 2005 I S. 186	§§ <u>34a</u> , <u>71</u>
4.	Art. 40 G zur Umbenennung des Bundesgrenzschutzes in Bundespolizei	21. 6. 2005	BGBl. I S. 1818	§ <u>63</u>
5.	Art. 8 G zur Beschleunigung von Planungsverfahren für Infrastrukturvorhaben	9. 12. 2006	BGBl. I S. 2833	§§ <u>22</u> , <u>48</u> , <u>52</u> , <u>60</u>
6.	Art. 3 Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden-UmsetzungsG ³	10. 5. 2007	BGBl. I S. 666	Inhaltsübersicht, §§ <u>11</u> , <u>21</u> , <u>21a</u>

^[1] Verkündet als Art. 1 G zur Neuregelung des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften

(BNatSchGNeuRegG) v. 25. 3. 2002 (BGBl. I S. 1193); Inkrafttreten gem. Art. 5 dieses G am 4. 4. 2002. Das BNatSchGNeuRegG dient der Umsetzung folgender Richtlinien:

1. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (ABl. EG Nr. L 206 S. 7),
2. Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (ABl. EG Nr. L 103 S. 1),
3. Richtlinie 83/129/EWG des Rates vom 28. März 1983 betreffend die Einfuhr in die Mitgliedstaaten von Fellen bestimmter Jungrobben und Waren daraus (ABl. EG Nr. L 91 S. 30),
4. Richtlinie 1999/22/EG des Rates vom 29. März 1999 über die Haltung von Wildtieren in Zoos (ABl. EG Nr. L 94 S. 24).

[2] Zum BNatSchG haben die Länder folgende Vorschriften erlassen:

Baden-Württemberg: NaturschutzG v. 13. 12. 2005 (GBl. S. 745, ber. 2006 S. 319)

Bayern: Bayerisches NaturschutzG idF der Bek. v. 23. 12. 2005 (GVBl. 2006 S. 2)

Berlin: Berliner NaturschutzG idF der Bek. v. 28. 10. 2003 (GVBl. S. 554)

Brandenburg: Brandenburgisches NaturschutzG idF der Bek. v. 26. 5. 2004 (GVBl. I S. 350), zuletzt geändert durch G v. 28. 6. 2006 (GVBl. I S. 74)

Bremen: Bremisches NaturschutzG idF der Bek. v. 19. 4. 2006 (Brem.GBl. S. 211), zuletzt geändert durch G v. 21. 11. 2006 (Brem.GBl. S. 467)

Hamburg: Hamburgisches NaturschutzG idF der Bek. v. 7. 8. 2001 (HmbGVBl. S. 281), zuletzt geändert durch G v. 3. 4. 2007 (HmbGVBl. S. 119)

Hessen: Hessisches NaturschutzG v. 4. 12. 2006 (GVBl. I S. 619)

Mecklenburg-Vorpommern: LandesnaturschutzG idF der Bek. v. 22. 10. 2002 (GVBl. M-V 2003 S. 1), zuletzt geändert durch G v. 14. 7. 2006 (GVBl. M-V S. 560)

Niedersachsen: Niedersächsisches NaturschutzG v. 11. 4. 1994 (Nds. GVBl. S. 155, ber. S. 267), zuletzt geändert durch G v. 23. 6. 2005 (Nds. GVBl. S. 210)

Nordrhein-Westfalen: LandschaftsG idF der Bek. v. 21. 7. 2000 (GV. NRW. S. 568), zuletzt geänd. durch G v. 15. 12. 2005 (GV. NRW. 2006 S. 35)

Rheinland-Pfalz: LandespfllegeG v. 5. 2. 1979 (GVBl. S. 37), aufgeh. durch G v. 28. 9. 2005 (GVBl. S. 387)

Saarland: Saarländisches NaturschutzG v. 19. 3. 1993 (Amtsbl. S. 346), aufgeh. durch G v. 5. 6. 2006 (Amtsbl. S. 726)

Sachsen: Sächsisches NaturschutzG idF der Bek. v. 11. 10. 1994 (SächsGVBl. S. 1601), zuletzt geänd. durch VO v. 16. 8. 2006 (SächsGVBl. S. 474)

Sachsen-Anhalt: NaturschutzG des Landes Sachsen-Anhalt v. 23. 7. 2004 (GVBl. LSA S. 454), zuletzt geänd. durch G v. 20. 12. 2005 (GVBl. LSA S. 769)

Schleswig-Holstein: LandesnaturschutzG v. 6. 3. 2007 (GVOBl. Schl.-H. S. 136)

Thüringen: Thüringer NaturschutzG idF der Bek. v. 30. 8. 2006 (GVBl. S. 421).

³ [Amtl. Anm.:] Dieses Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2004/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. April 2004 über Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden (ABl. EU Nr. L 143 S. 56).

WHG	Wasserhaushaltsgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	
-----	-----------------------	-----------------------	--

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)¹ ^[2] in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002^[3].
Zuletzt geändert durch Art. 2 G zur Einf. einer Strategischen Umweltprüfung und zur Umsetzung der RL 2001/42/EG⁴ vom 25. 6. 2005 (BGBl. I S. 1746)
(BGBl. I S. 3245) FNA 753-1

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 6 Geräte- und Produktsicherheits-Neuordnungsg	6. 1. 2004	BGBl. I S. 2	§ <u>19f</u>
2.	Art. 1 G zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes	3. 5. 2005	BGBl. I S. 1224	§§ <u>18a</u> , <u>19a</u> , <u>19e</u> , <u>19g</u> , Zweiter Teil Vierter Abschn., §§ <u>31a</u> , <u>31b</u> , <u>31c</u> , <u>31d</u> , <u>32</u> , <u>36a</u> , <u>37</u> , <u>42</u>
3.	Art. 3 Bürokratieabbau- und DeregulierungsG	21. 6. 2005	BGBl. I S. 1666	§ <u>21b</u>
4.	Art. 2 G zur Einf. einer Strategischen Umweltprüfung und zur Umsetzung der RL 2001/42/EG ⁴	25. 6. 2005	BGBl. I S. 1746	§§ <u>25a</u> , <u>31d</u> , <u>33a</u> , <u>36</u>

¹ [Amtl. Anm.:] Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. EG Nr. L 327 S. 1).

^[2] Zum WHG haben die Länder folgende Vorschriften erlassen:

Baden-Württemberg: WasserG idF der Bek. v. 20. 2. 2005 (GBl. S. 219, ber. S. 404), zuletzt geänd. durch G v. 11. 10. 2005 (GBl. S. 668)

Bayern: WasserG v. 19. 7. 1994 (GVBl S. 822), zuletzt geänd. durch G v. 10. 4. 2007 (GVBl S. 271)

Berlin: WasserG idF der Bek. v. 17. 6. 2005 (GVBl. S. 357, ber. S. 223)

Brandenburg: WasserG v. 13. 7. 1994 (GVBl. I S. 302)

Bremen: WasserG idF der Bek. v. 24. 2. 2004 (Brem.GBl. S. 45), zuletzt

geänd. durch G v. 21. 11. 2006 (Brem.GBl. S. 467)

Hamburg: WasserG idF der Bek. v. 29. 3. 2005 (HmbGVBl. S. 97), zuletzt geänd. Durch G v. 1. 9. 2005 (HmbGVBl. S. 377)

Hessen: WasserG v. 6. 5. 2005 (GVBl. I S. 305)

Mecklenburg-Vorpommern: WasserG v. 30. 11. 1992 (GVOBl. M-V S. 669), zuletzt geänd. durch G v. 1. 8. 2006 (GVOBl. M-V S. 634)

Niedersachsen: WasserG idF der Bek. v. 10. 6. 2004 (Nds. GVBl. S. 171), zuletzt geänd. durch G v. 26. 4. 2007 (Nds. GVBl. S. 144)

Nordrhein-Westfalen: LandeswasserG idF der Bek. v. 25. 6. 1995 (GV. NRW. S. 926), zuletzt geänd. durch G v. 3. 5. 2005 (GV. NRW. S. 463)

Rheinland-Pfalz: LandeswasserG idF der Bek. v. 22. 1. 2004 (GVBl. S. 54), zuletzt geänd. durch G v. 5. 4. 2005 (GVBl. S. 98)

Saarland: WasserG idF der Bek. v. 30. 7. 2004 (Amtsbl. S. 1994), zuletzt geänd. Durch G v. 5. 4. 2006 (Amtsbl. S. 726)

Sachsen: WasserG idF der Bek. v. 18. 10. 2004 (SächsGVBl. S. 482), zuletzt geänd. durch G v. 1. 6. 2006 (SächsGVBl. S. 146)

Sachsen-Anhalt: WasserG idF der Bek. v. 12. 4. 2006 (GVBl. LSA S. 248)

Schleswig-Holstein: LandeswasserG idF der Bek. v. 6. 1. 2004 (GVOBl. Schl.-H. S. 8, ber. S. 189), zuletzt geänd. durch G v. 6. 3. 2007 (GVOBl. Schl.-H. S. 136)

Thüringen: WasserG idF der Bek. v. 23. 2. 2004 (GVBl. S. 244), zuletzt geänd. durch G v. 17. 12. 2004 (GVBl. S. 889)

[3] Neubekanntmachung des WHG idF der Bek. v. 12. 11. 1996 (BGBl. I S. 1695) in der ab 21. 8. 2002 geltenden Fassung.

⁴ [Amtl. Anm.:] Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme (ABl. EG Nr. L 197 S. 30) sowie der Umsetzung von Artikel 3 Nr. 1 der Richtlinie 2003/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Mai 2003 über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten (ABl. EU Nr. L 156 S. 17).

ROG	Raumordnungsgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	
Raumordnungsgesetz (ROG) ^[1] ^[2] vom 18. August 1997. Zuletzt geändert durch Art. 10 G zur Beschleunigung von Planungsverfahren für Infrastrukturvorhaben vom 9. 12. 2006 (BGBl. I S. 2833) (BGBl. I S. 2081) FNA 2301-1			

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 3 G über die Errichtung eines Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung	15. 12. 1997	BGBl. I S. 2902	§§ <u>18</u> , <u>21</u>
2.	Art. 2 EuroparechtsanpassungsG Bau	24. 6. 2004	BGBl. I S. 1359	Inhaltsübersicht, §§ <u>1</u> , <u>2</u> , <u>5</u> , <u>7</u> , <u>10</u> , <u>18a</u> , <u>22</u> , <u>23</u>
3.	Art. 3 G zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes	3. 5. 2005	BGBl. I S. 1224	§ <u>7</u>
4.	Art. 2b G zur Einführung einer Strategischen Umweltprüfung und zur Umsetzung der RL 2001/42/EG ³	25. 6. 2005	BGBl. I S. 1746	§ <u>7</u>
5.	Art. 10 G zur Beschleunigung von Planungsverfahren für Infrastrukturvorhaben	9. 12. 2006	BGBl. I S. 2833	§§ <u>15</u> , <u>18a</u>

^[1] Verkündet als Art. 2 Bau- und Raumordnungsg 1998 v. 18. 8. 1997 (BGBl. I S. 2081); Inkrafttreten gem. Art. 11 Abs. 1 dieses G am 1. 1. 1998.

^[2] Beachte hierzu auch das VerkehrswegeplanungsbeschleunigungsG v. 16. 12. 1991 (BGBl. I S. 2174), zuletzt geändert durch G v. 9. 12. 2006 (BGBl. I S. 2833).

³ [Amtl. Anm.:] Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme (ABl. EG Nr. L 197 S. 30) sowie der Umsetzung von Artikel 3 Nr. 1 der Richtlinie 2003/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Mai 2003 über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug

auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten (ABl. EU Nr. L 156 S. 17).

BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	
----------	--------------------------	-----------------------	--

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG)^[1] vom 17. März 1998. Zuletzt geändert durch Art. 3 G zur Anp. von Verjährungsvorschriften an das SchuldrechtsmodernisierungG vom 9. 12. 2004 (BGBl. I S. 3214), (BGBl. I S. 502) FNA 2129-32

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 17 Siebtes Euro-EinführungsG	9. 9. 2001	BGBl. I S. 2331	§ <u>26</u>
2.	Art. 3 G zur Anp. von Verjährungsvorschriften an das SchuldrechtsmodernisierungG	9. 12. 2004	BGBl. I S. 3214	§ <u>24</u>

^[1] Verkündet als Art. 1 BodenschutzG v. 17. 3. 1998 (BGBl. I S. 502); Inkrafttreten gem. Art. 4 Satz 2 dieses G am 1. 3. 1999 mit Ausnahme von § 5 Satz 1, § 6, § 8 Abs. 1 Satz 1 und Abs. 2, § 13 Abs. 1 Satz 2, § 20, § 22 Abs. 1, § 23 Abs. 2 und § 25 Abs. 6 Satz 2, die gem. Art. 4 Satz 1 am 25. 3. 1998 in Kraft getreten sind.

BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	
---------	-------------------------------	-----------------------	--

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)^{[1] [2]} in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002^[3]. Zuletzt geändert durch Art. 3 BiokraftstoffquotenG^{9 10} vom 18. 12. 2006 (BGBl. I S. 3180) (BGBl. I S. 3830) FNA 2129-8

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 41 Achte ZuständigkeitsanpassungsVO	25. 11. 2003	BGBl. I S. 2304	§ <u>51a</u>
2.	Art. 7 Geräte- und Produktsicherheits-Neuordnungsg	6. 1. 2004	BGBl. I S. 2	§§ <u>7</u> , <u>29a</u> , <u>31a</u>
3.	Art. 2 G zur Umsetzung der RL 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft ⁴	8. 7. 2004	BGBl. I S. 1578	§ <u>5</u>
4.	Art. 2 G zur Neugestaltung des UmweltinformationsG und zur Änd. der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel ⁵	22. 12. 2004	BGBl. I S. 3704	§ <u>31</u>
5.	Art. 1 G zur Umsetzung der EG-RL über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm ⁶	24. 6. 2005	BGBl. I S. 1794	Inhaltsübersicht, § <u>2</u> , Sechster Teil, §§ <u>47a</u> , <u>47b</u> , <u>47c</u> , <u>47d</u> , <u>47e</u> , Siebenter Teil, Achter Teil, § <u>66</u>
6.	Art. 1 G zur Umsetzung der RL 2003/105/EG zur Änd. der RL 96/82/EG zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährl. Stoffen ⁷	25. 6. 2005	BGBl. I S. 1865	Inhaltsübersicht, § <u>3</u> , Dritter Abschn., §§ <u>31a</u> , <u>50</u> , <u>51a</u> , <u>67</u>
7.	Art. 60 Neunte ZuständigkeitsanpassungsVO	31. 10. 2006	BGBl. I S. 2407	§§ <u>38</u> , <u>39</u> , <u>51a</u>
8.	Art. 2 Öffentlichkeitsbeteiligungsg ⁸	9. 12. 2006	BGBl. I S. 2819	§§ <u>10</u> , <u>16</u> , <u>17</u> , <u>19</u> , <u>47</u> , <u>67</u> , <u>73</u>

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
9.	Art. 3 BiokraftstoffquotenG ⁹ ¹⁰	18. 12. 2006	BGBI. I S. 3180	Inhaltsübersicht, §§ <u>37a</u> , <u>37b</u> , <u>37c</u> , <u>37d</u> , <u>48</u> , <u>52</u> , <u>62</u>

[1] Zum BImSchG wurden folgende Durchführungsvorschriften erlassen:

VO über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV idF der Bek. v. 14. 3. 1997 (BGBl. I S. 490), zuletzt geänd. durch VO v. 14. 8. 2003 (BGBl. I S. 1614)

VO zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen - 2. BImSchV v. 10. 12. 1990 (BGBl. I S. 2694), zuletzt geänd. durch VO v. 23. 12. 2004 (BGBl. I S. 3758)

VO über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe - 3. BImSchV v. 24. 6. 2002 (BGBl. I S. 2243)

VO über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV idF der Bek. v. 14. 3. 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geänd. durch G v. 15. 7. 2006 (BGBl. I S. 1619)

VO über Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte - 5. BImSchV v. 30. 7. 1993 (BGBl. I S. 1433), zuletzt geänd. durch G v. 9. 9. 2001 (BGBl. I S. 2331)

VO zur Auswurfbegrenzung von Holzstaub - 7. BImSchV v. 18. 12. 1975 (BGBl. I S. 3133)

VO über das Genehmigungsverfahren - 9. BImSchV idF der Bek. v. 29. 5. 1992 (BGBl. I S. 1001), zuletzt geänd. durch G v. 9. 12. 2006 (BGBl. I S. 2819)

VO über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen - 10. BImSchV v. 24. 6. 2004 (BGBl. I S. 1342)

VO über Emissionserklärungen und Emissionsberichte - 11. BImSchV idF der Bek. v. 5. 3. 2007 (BGBl. I S. 289)

Störfall-VO - 12. BImSchV idF der Bek. v. 8. 6. 2005 (BGBl. I S. 1598)

VO über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen - 13. BImSchV v. 20. 7. 2004 (BGBl. I S. 1717)

VO über Anlagen der Landesverteidigung - 14. BImSchV v. 9. 4. 1986 (BGBl. I S. 380)

VerkehrslärmschutzVO - 16. BImSchV v. 12. 6. 1990 (BGBl. I S. 1036), geänd. durch G v. 19. 9. 2006 (BGBl. I S. 2146)

VO über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV idF der Bek. v. 14. 8. 2003 (BGBl. I S. 1633, ber. S. 2832)

SportanlagenlärmschutzVO - 18. BImSchV v. 18. 7. 1991 (BGBl. I S. 1588, ber. S. 1790), zuletzt geänd. durch VO v. 9. 2. 2006 (BGBl. I S. 324)

VO über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz - 19. BImSchV v. 17. 1. 1992 (BGBl. I S. 75), geänd. durch G v. 21. 12. 2000 (BGBl. I S. 1956)

VO zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen - 20. BImSchV v. 27. 5. 1998 (BGBl. I S. 1174), zuletzt geänd. durch VO v. 24. 06. 2002 (BGBl. I S. 2247)

VO zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen - 21. BImSchV v. 7. 10. 1992 (BGBl. I S. 1730), geänd. durch VO v. 6. 5. 2002 (BGBl. I S. 1566)

VO über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft - 22. BImSchV v. 11. 9. 2002 (BGBl. I S. 3626), zuletzt geänd. durch VO v. 27. 2. 2007 (BGBl. I S. 241)

Verkehrswege-SchallschutzmaßnahmenVO - 24. BImSchV v. 4. 2. 1997 (BGBl. I S. 172, ber. S. 1253), geänd. durch VO v. 23. 9. 1997 (BGBl. I S. 2329)

VO zur Begrenzung von Emissionen aus der Titandioxid-Industrie - 25. BImSchV v. 8. 11. 1996 (BGBl. I S. 1722)

VO über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV v. 16. 12. 1996 (BGBl. I S. 1966)

VO über Anlagen zur Feuerbestattung - 27. BImSchV v. 19. 3. 1997 (BGBl. I S. 545), geänd. durch G v. 3. 5. 2000 (BGBl. I S. 632)

VO über Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren - 28. BImSchV v. 20. 4. 2004 (BGBl. I S. 614, ber. S. 1423), zuletzt geänd. durch VO v. 18. 5. 2005 (BGBl. I S. 1404)

GebührenO für Maßnahmen bei Typprüfungen von Verbrennungsmotoren - 29. BImSchV v. 22. 5. 2000 (BGBl. I S. 735), geänd. durch G v. 9. 9. 2001 (BGBl. I S. 2331)

VO über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen - 30. BImSchV v. 20. 2. 2001 (BGBl. I S. 305)

VO zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen - 31. BImSchV v. 21. 8. 2001 (BGBl. I S. 2180), geänd. durch VO v. 23.

12. 2004 (BGBl. I S. 3758)

Geräte- und MaschinenlärmschutzVO - 32. BImSchV v. 29. 8. 2002 (BGBl. I S. 3478), zuletzt geänd. durch VO v. 6. 3. 2007 (BGBl. I S. 261)

VO zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen - 33. BImSchV v. 13. 7. 2004 (BGBl. I S. 1612)

VO über die Lärmkartierung - 34. BImSchV v. 6. 3. 2006 (BGBl. I S. 516)

VO zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung - 35. BImSchV v. 10. 10. 2006 (BGBl. I S. 2218)

VO zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote - 36. BImSchV v. 29. 1. 2007 (BGBl. I S. 60)

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft v. 24. 7. 2002 (GMBl S. 511)

Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm v. 26. 8. 1998 (GMBl S. 503).

^[2] Zum BImSchG haben die Länder folgende Vorschriften erlassen:

Baden-Württemberg: Immissionsschutz-ZuständigkeitsVO v. 3. 3. 2003 (GBl. S. 180), zuletzt geänd. durch VO v. 16. 12. 2005 (GBl. 2006 S. 10)

Bayern: Bayerisches ImmissionsschutzG v. 8. 10. 1974 (BayRS III S.), zuletzt geänd. durch G v. 26. 7. 2005 (GVBl S. 287)

Brandenburg: LandesimmissionsschutzG idF der Bek. v. 22. 7. 1999 (GVBl. I S. 386), zuletzt geänd. durch G v. 28. 6. 2006 (GVBl. I S. 74); ImmissionsschutzzuständigkeitsVO idF der Bek. v. 29. 5. 1997 (GVBl. II S. 686), zuletzt geänd. durch VO v. 29. 10. 2002 (GVBl II S. 618)

Bremen: Bremisches ImmissionsschutzG v. 26. 6. 2001 (Brem.GBl. S. 220), zuletzt geänd. durch G v. 26. 4. 2005 (Brem.GBl. S. 147); VO über die Zuständigkeit für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten nach dem Bundes-ImmissionsschutzG v. 7. 12. 1993 (Brem.GBl. S. 407), zuletzt geänd. durch Bek. v. 22. 6. 2004 (Brem.GBl. S. 313)

Hamburg: Hamburgisches KlimaschutzG v. 25. 6. 1997 (HmbGVBl. S. 261), zuletzt geänd. durch G v. 6. 7. 2006 (HmbGVBl. S. 404)

Hessen: VO zur Regelung von Zuständigkeiten nach dem Bundes-

ImmissionsschutzG v. 11. 12. 2002 (GVBl. I S. 773)

Mecklenburg-Vorpommern: Immissionsschutz-ZuständigkeitsVO v. 14. 11. 2002 (GVOBl. M-V S. 771), zuletzt geänd. durch VO v. 23. 5. 2006 (GVOBl. M-V S. 268); Immissionsschutz-KostenVO v. 9. 9. 2002 (GVOBl. M-V S. 634), zuletzt geänd. durch VO v. 15. 3. 2005 (GVOBl. M-V S. 137)

Nordrhein-Westfalen: Landes-ImmissionsschutzG v. 18. 3. 1975 (GV. NRW. S. 232), zuletzt geänd. durch G v. 12. 12. 2006 (GV. NRW. S. 622); Untersuchungsgebiets-VO v. 29. 6. 1993 (GV. NRW. S. 498), geänd. durch G v. 5. 4. 2005 (GV. NRW. S. 306)

Rheinland-Pfalz: Landes-ImmissionsschutzG v. 20. 12. 2000 (GVBl. S. 578), zuletzt geänd. durch G v. 2. 3. 2006 (GVBl. S. 97); LandesVO über Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Immissionsschutzes v. 14. 6. 2002 (GVBl. S. 280), geänd. durch VO v. 28. 5. 2005 (GVBl. S. 167)

Saarland: VO über Zuständigkeiten nach dem Bundes-ImmissionsschutzG v. 18. 2. 1992 (Amtsbl. S. 274), zuletzt geänd. durch VO v. 17. 6. 1998 (ABl. S. 522)

Sachsen: Immissionsschutz-ZuständigkeitsVO v. 5. 4. 2005 (SächsGVBl. S. 82)

Schleswig-Holstein: LandesVO über die zuständigen Behörden nach dem Bundes-ImmissionsschutzG v. 31. 8. 1993 (GVOBl. Schl.-H. S. 404), zuletzt geänd. durch VO v. 12. 10. 2005 (GVOBl. Schl.-H. S. 487)

Thüringen: Thüringer Immissionsschutz-Zuständigkeits-VO v. 8. 9. 2004 (GVBl. S. 738), zuletzt geänd. durch VO v. 24. 3. 2006 (GVBl. S. 210).

^[3] Neubekanntmachung des BImSchG idF der Bek. v. 14. 5. 1990 (BGBl. I S. 880) in der ab 18. 9. 2002 geltenden Fassung.

⁴ [Amtl. Anm.:] Dieses Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (ABl. EU Nr. L 275 S. 32).

⁵ [Amtl. Anm.:] Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2003/4/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den

Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates (ABl. EU Nr. L 41 S. 26).

⁶ [Amtl. Anm.:] Die Rechtsvorschriften dienen der Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (ABl. EG Nr. L 189 S. 12) in deutsches Recht. Die Rechtsvorschriften dienen auch der Umsetzung der Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme (ABl. EG Nr. L 197 S. 30) in deutsches Recht, soweit es um den Bereich der Lärminderungsplanung geht.

⁷ [Amtl. Anm.:] Dieses Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2003/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2003 zur Änderung der Richtlinie 96/82/EG (ABl. EU Nr. L 345 S. 97).

⁸ [Amtl. Anm.:] Das Gesetz dient der Umsetzung der Richtlinie 2003/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Mai 2003 über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten (ABl. EU Nr. L 156 S. 17).

⁹ [Amtl. Anm.:] Dieses Gesetz dient der weiteren Umsetzung folgender Richtlinien:

Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (ABl. EU Nr. L 123 S. 42) und

Richtlinie 2003/96/EG des Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (ABl. EU Nr. L 283 S. 51), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2004/75/EG des Rates vom 29. April 2004 (ABl. EU Nr. L 157 S. 100).

¹⁰ [Amtl. Anm.:] Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informa-

tionsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. EG Nr. L 104 S. 37), geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 (ABl. EG Nr. L 217 S. 18), sind beachtet worden.

AbgrG	Abgrabungsgesetz	Rechtsstand: 1.5.2007	[NRW]
-------	------------------	-----------------------	-------

Gesetz zur Ordnung von Abgrabungen (Abgrabungsgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. November 1979^[1]. Zuletzt geändert durch Art. 192 Zweites BefristungsG - Zeitraum 1967 bis Ende 1986 vom 5. 4. 2005 (GV. NRW. S. 274)
(GV. NW. S. 922) SGV. NRW. 75

Lfd. Nr.	Änderndes Gesetz	Datum	Fundstelle	Betroffen
1.	Art. 13 G zur Beschränkung landesrechtlicher Bußgeldvorschriften	6.11.1984	GV. NW. S. 663	§ <u>13</u>
2.	Art. 7 G zur Umsetzung der RL 85/337/EWG	29.4.1992	GV. NW. S. 175	§ <u>3</u>
3.	Art. III G zur Änd. des LandschaftsG	19.6.1994	GV. NW. S. 418	§§ <u>8</u> , <u>13</u>
4.	Art. 7 G zur Ausführung und Ergänzung des BBodSchG in NRW	9.5.2000	GV. NRW. S. 439	§ <u>3</u>
5.	Art. 87 EuroAnpG NRW	25.9.2001	GV. NRW. S. 708	§§ <u>7</u> , <u>13</u> , <u>15</u>
6.	Art. 7 UVP-ÄndRL-UmsetzungsG	4.5.2004	GV. NRW. S. 259	§ <u>3</u>
7.	Art. 192 Zweites BefristungsG - Zeitraum 1967 bis Ende 1986	5.4.2005	GV. NRW. S. 274	§ <u>16</u>

^[1] Neubekanntmachung des Abgrabungsgesetzes v. 21. 11. 1972 (GV. NW. S. 372) in der ab 1. 1. 1980 geltenden Fassung.

8.2 Anhang 2: Verzeichnis der themenbezogenen DIN

Nachfolgend sind die technischen Spezifikationen und DIN Normen für Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand aufgelistet.

Nummer	Titel	Gültig keit	Bemerkung
DIN 18200	Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte – Werkseigene Produktionskontrolle, Fremdüberwachung	x	
DIN 1045	Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung	x	
DIN 1045 – 1	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1 Bemessung und Konstruktion	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 1045 – 2	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	x	Teil des DIN-FB 100
DIN 1045 – 3	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 1048 – 1	Prüfverfahren für Beton – Teil 1: Frischbeton	x	mitgeltend mit DIN 10 45
DIN 1048 – 2	Prüfverfahren für Beton – Teil 2: Festbeton in Bauwerken und Bauteilen	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 1048 – 5	Prüfverfahren für Beton – Teil 5: Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 1053	Mauerwerk	x	
DIN 1100	Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 1115	Betondachsteine	x	
DIN 1164	Zement mit besonderen Eigenschaften – Zusammensetzung, Anforderungen, Übereinstimmungsnachweis	x	
DIN 2614	Zementmörtelauskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke	x	

DIN 2859 – 1	Annahmestichprobenprüfung anhand der Anzahl fehlerhafter Einheiten oder Fehler (Attributprüfung) – Teil 1: Nach der annehmbaren Qualitätsgrenzlage (AQL) geordnete Stichprobenanweisung für die Prüfung einer Serie von Losen anhand der Anzahl fehlerhafter Einheiten oder Fehler	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN ISO 3310 – 1	Analysensiebe – Technische Anforderungen und Prüfung – Teil 1: Analysensiebe mit Metalledrahtgewebe	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN ISO 3310 – 2	Analysensiebe – Technische Anforderungen und Prüfung – Teil 2: Analysensiebe mit Lochblechen		
DIN ISO 3951	Verfahren und Tabellen für Stichprobenprüfung auf den Anteil fehlerhafter Einheiten in Prozent anhand quantitativer Merkmale (Variablenprüfung)		
DIN 4022-1	Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels	x	
DIN 4030-1	Beurteilung betonangreifender Wasser, Böden und Gase- Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 4030 – 2	Beurteilung betonangreifender Wasser, Böden und Gase – Teil 2. Entnahme und Analyse von Wasser- und Bodenproben	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 4032	Betonrohre und –formstücke; Maße, Technische Lieferbedingungen	x	
DIN 4033	Entwässerungskanäle und –leitungen aus vorgefertigten Rohren	x	
DIN 4095	Baugrund, Dränung des Untergrundes zum Schutz von baulichen Anlagen	x	
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	x	
DIN 4188	Siebanalyse		nicht mehr gültig, ersetzt durch DIN ISO 3310

DIN 4226-1	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen		2003 ersetzt durch DIN EN 12620
DIN 4226-2	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen		2003 ersetzt durch DIN EN 12620
DIN 4226-3	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel Teil 3: Zuschlag für Beton; Prüfung von Zuschlag mit dichtem oder porigem Gefüge		2002 ersetzt durch DIN 4226-1/2
DIN 4226 - 100	Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen:		
DIN 4227	Planung und Ausführung von Betonbauwerken		"alte" = DIN 1045 und DIN 4227, Ausgabe 1988; "neue" = DIN 1045, DIN EN 206-1 und DIN 1055-100, Ausgabe 2001
DIN 4281	Beton für werkmäßig hergestellte Entwässerungsgegenstände - Herstellung, Anforderungen, Prüfungen und Überwachung	x	
DIN 4924	Brunnenbau, Filtersand und Filterkies	x	
DIN 18035	Sportplätze	x	
DIN 18151	Hohlblöcke	x	
DIN 18152	Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton	x	
DIN 18153	Mauersteine aus Beton (Normalbeton)	x	
DIN 18196	Bauwerksabdichtungen	x	
DIN 18318	Pflasterbauarbeiten	x	
DIN 18550	Putz und Putzsysteme – Ausführungen	x	
DIN 18551	Spritzbeton	x	
DIN 18555	Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel	x	
DIN 18557	Werk-Trockenmörtel	x	
DIN 18558	Kunstharpuz	x	
DIN 18560	Estriche im Bauwesen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung	x	
DIN 19623	Filtersand und Filterkies nach DIN EN 12904 : 1999 zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch	x	Ersatz für DIN 19623 : 1978

DIN 19569 – 1	Kläranlagen; Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen; Allgemeine Baugrundsätze	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 106	Kalksandsteine	x	
DIN EN 196 – 2	Prüfverfahren für Zement -Teil 2: Chemische Analyse von Zement	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN 196 - 21	Prüfverfahren für Zement; Bestimmung des Chlorid-, Kohlenstoffdioxid- und Alkalianteils von Zement	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 197 – 1	Zement- Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 197 – 2	Zement – Teil 2: Konformitätsbewertung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 197 – 3	Zement- Teil 3: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement mit niedriger Hydratationswärme	x	Vorgesehen als teilweiser Ersatz für DIN 1164
DIN EN 206 – 1	Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	x	Teil des DIN- FB 100
DIN EN 450	Flugasche für Beton – Definition, Anforderungen und Güteüberwachung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 450 – 1	Flugasche für Beton – Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien	x	
DIN EN 480 – 1	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpreßmörtel – Prüfverfahren – Teil 1: Referenzbeton und Referenzmörtel für Prüfungen		
DIN EN 933 – 1	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilungen - Siebverfahren	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 934 – 2	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Betonzusatzmittel; Definitionen und Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 934 – 4	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder; Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung		

DIN EN 934 – 6	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle und Bewertung der Konformität		
DIN EN 1008	Annahmestichprobenprüfung anhand der Anzahl fehlerhafter Einheiten oder Fehler		
DIN EN 1097 – 3	Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 3: Bestimmung von Schüttdichte und Hohlraumgehalt	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 1097 – 6	Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN ISO 7980	Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Calcium und Magnesium – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 1	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 1: Probenahme	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 2	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 2: Setzmaß	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 3	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 3: Vebe-Prüfung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 4	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 4: Verdichtungsmaß	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 5	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 6	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 6: Frischbetonrohddichte	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12350 – 7	Prüfverfahren von Frischbeton – Teil 7: Frischbetonrohddichte	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12390 – 1	Prüfung von Festbeton – Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12390 – 2	Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen	x	mitgeltend mit DIN-FB 100

DIN EN 12390 – 4	Prüfung von Festbeton – Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit; Anforderungen an Prüfmaschinen		Mit DIN 51302-12: Ersatz für DIN 51302-2
DIN EN 12390 – 5	Prüfung von Festbeton – Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern		
DIN EN 12390 – 6	Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12390 – 7	Prüfung von Festbeton – Teil 7: Dichte von Festbeton	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12390 – 8	Prüfung von Festbeton – Teil 8: Dichte von Festbeton	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 12390 - 9	Prüfung von Festbeton – Teil 8: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung		
DIN EN 12504-1	Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 1: Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck		
DIN EN 12504-2	Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung ; Bestimmung der Rückprallzahl		
DIN EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton einschließlich Beton für Straßen und Deckschichten		
DIN EN 12636	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Bestimmung der Verbundwirkung Beton-Beton		
DIN EN 12878	Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 13262 – 2	Silikatstaub für Beton – Teil 2: Konformitätsbewertung	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 13263 – 1	Silikastaub für Beton – Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 13055 – 1	Leichte Gesteinskörnungen – Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel		
DIN EN 13577	Wassergüte –Bestimmung des angreifenden Kohlendioxidgehalts	x	mitgeltend mit DIN-FB 100
DIN EN 14068	Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Bestimmung der Wasserlöslichkeit von injizierten Rissen in Beton		

DIN EN 14216	Zement- Zusammensetzung, Anforderung und Konformitätskriterien für Massenbeton-Zement mit niedriger Hydratationswärme		
DIN EN 14217	Zement - Zusammensetzung, Anforderung und Konformitätskriterien für Zemente mit niedriger Hydratationswärme und niedriger Anfangsfestigkeit	x	
DIN 51302 –2	Werkstoffprüfmaschinen – Dehnzylinder Prüfverfahren für Druckprüfmaschinen für Beton	x	
DIN 52100	Naturstein und Gesteinskörnungen, Gesteinskundliche Untersuchungen	x	
DIN 66141	Darstellung von Korngrößenverteilungen	x	

Neben den vorgenannten DIN Normen sind zusätzliche folgende sonstigen in Zusammenhang mit dem Nassabbau stehende DIN-Normen aufgeführt.

Nummer	Titel	Gültigkeit	Bemerkung
DIN ISO 6483	Erdbaumaschinen	x	
DIN ISO 7546	Erdbaumaschinen; Lader und Bagger; Nenninhalt von Ladeschaufeln	x	
DIN 1055 – 100	Einwirkungen auf Tragwerke	x	
DIN 1319 – 1	Grundbegriffe der Messtechnik; Teil 1:Allgemeine Grundbegriffe	x	
DIN 1319 – 2	Grundbegriffe der Messtechnik; Teil 2:Begriffe für die Anwendung von Messgeräten	x	
DIN 1319 – 3	Grundbegriffe der Messtechnik; Teil 3:Begriffe für die Meßunsicherheit und für die Beurteilung von Messgeräten und Meßeinrichtungen	x	
DIN 1319 – 4	Grundbegriffe der Messtechnik; Teil 4: Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen	x	
DIN 4021	Baugrund: Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben	x	

DIN 4022 – 3	Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)	x	
DIN 4047 – 5	Landwirtschaftlicher Wasserbau; Begriffe; Teil 5: Ausbau und Unterhaltung von Gewässern	x	
DIN 4054	Verkehrswasserbau - Begriffe	x	
DIN 4084	Baugrund; Gelände- und Böschungsbruchberechnungen	x	
DIN 4094	Baugrund; Erkundung durch Sondierungen	x	
DIN 4096	Ermittlung der Flügelscherfestigkeit mit der Feldflügelsonde	x	
DIN 18121 – 1	Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Wassergehalt, Bestimmung durch Ofentrocknung	x	
DIN 18121 – 2	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Wassergehalt; Bestimmung durch Schnellverfahren	x	
DIN 18122 – 1	Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze	x	
DIN 18122 – 2	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze	x	
DIN 18123	Baugrund; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung	x	
DIN 18124	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Korndichte, Kapillarypknometer; Weithalspyknometer	x	
DIN 18125 – 1	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Dichte des Bodens; Laborversuche	x	
DIN 18125 – 2	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Dichte des Bodens; Feldversuche	x	
DIN 18126	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Dichte nicht bindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung	x	
DIN 18127	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Proctorversuch	x	

DIN 18128	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung des Glühverlustes	x	
DIN 18129	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Kalkgehaltsbestimmung	x	
DIN 18130 – 1	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes; Laborversuche	x	
DIN 18134	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Plattendruckversuch	x	
DIN 18136	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit; Einaxialversuch	x	
DIN 18137 – 1	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen	x	
DIN 18137 – 2	Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Triaxialversuch	x	
DIN 18196	Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke	x	
DIN 18311	Nassbaggerarbeiten	x	
DIN 21918	Bergmännisches Risswerk - Lagerstätten	x	
DIN 24086	Erdbaumaschinen	x	
DIN 52114	Bestimmung der Kornform	x	
DIN 66141	Grundlagen der Darstellung von Korngrößenverteilungen	x	

9 QUELLENVERZEICHNIS

- ¹ --- (1999) Fachwörterbuch Bergbau Deutsch-Englisch, Englisch – Deutsch. Glückauf Verlag
- ² Walther H W et al. (1999) Lagerstättenkundliches Wörterbuch der Deutschen Sprache, GDMB Clausthal-Zellerfeld
- ³ Bönner Max (1998) Chronik der deutschen Kies- und Sandindustrie wie die derer Verbände. Bredow & Sohn, Moers
- ⁴ Lüttig G (1990) Quaternary Research in View of Modern Requirements of Applied Geology. Striae Vol. 29, Uppsala, 15-29pp
- ⁵ Lüttig G (2007) Die (neue) Rohstoffschlange. World Mining 59/2007 No.1
- ⁶ DEME (2005) Firmeninformation. Antwerpen/B
- ⁷ Elsner H, Patzold V (1997) Geologische Erkundung -unnütze Geldausgabe oder erster Ansatz zur Kostenersparnis- bei Gewinnung Transport und Aufbereitung. Steinbruch und Sandgrube
- ⁸ Heilfurth G (1981) Der Bergbau und seine Kultur. Atlantis, S 31
- ⁹ Hendrich R (1993) Gewinnungsgeräte zur Gewinnung von Sand und Kies. AT Jahrg 34, Heft 6
- ¹⁰ Stoll R D (1992) Gewinnungsverfahren für Kies und Sand. AT Jahrg 33, Hefte 3 und 6
- ¹¹ Bobzin H (1989) Praktische Naßbaggerei. Heft 69, Mitt. Franzius Institut, Hannover
- ¹² Hornby A S (1960) The Oxford English Reader's Dictionary. London
- ¹³ ICE (1987) Maintenance Dredging. Proceedings, Arnold, London
- ¹⁴ Bruun P (1990) Port Engineering. 4. Aufl., Gulf Publishing
- ¹⁵ EAU (2004) Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen Häfen und Wasserstraßen. Ernst & Sohn Verlag, Essen
- ¹⁶ Amsterdamse Ballast Bagger en Grond BV (1978) Interne Hausmitteilung. Zeist/Nl
- ¹⁷ Patzold V (2006) In der Nassgewinnung eingesetzte Baggergeräte. Unveröffentl. Studie im Auftrag der Fa. Vosta LMG GmbH, Lübeck
- ¹⁸ Rasper L (1973) Der Schaufelradbagger als Gewinnungsgerät. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld
- ¹⁹ Durst W, Vogt W (1986) Schaufelradbagger. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld

- 20 Inst. für Bergbaukunde III RWTH Aachen (2006) Proceeding 8th Int.
21 Symp. Continuous Surface Mining
- 22 Cohrs H-H (1995) Faszination Baumaschinen – Erdbewegungen durch
23 fünf Jahrhunderte. Giesel Verlag, Isernhagen
- 24 Strzodka K et al. (Hrsg.) (1979) Tagebautechnik Bd. I-II. VEB Deut-
25 scher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- 26 Goergen H (1987) Festgesteinstagebau. Transtech Publ., Clausthal-
Zellerfeld
- 27 Kunze G, Göhring H, Jacob K (2002) Baumaschinen. Vieweg, Braun-
28 schweig
- 29 VP Consult GmbH (2004) SAGALO System zur Anlagenplanung für
Gewinnung und Aufbereitung von Lockergestein. Holm-Seppensen
- 30 Ingenieurbüro Dr.-Ing. V.Patzold (1998) Optimale Auswahl und Kon-
figurierung von Anlagen für die Gewinnung und den Transport von
Lockergestein. Forschungsarbeit unter Förderung der DBU Deutsche
Bundesstiftung Umwelt
- 31 Runge K (1998) Die Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Springer
- 32 ISTE (1999) Kiesgewinnung Wasser- und Naturschutz. Umweltbera-
33 tung im Iste, Ostfildern
- 34 Tränkle U, Beißwenger T (1999) Naturschutz in Steinbrüchen. Um-
weltberatung im ISTE, Ostfildern
- 35 Steinhardt U et al. (2005) Lehrbuch der Landschaftsökologie. Spekt-
rum Akademischer Verlag
- 36 Fleckenstein K (Hrsg.) (1995) Aktuelle Probleme des Rohstoffabbaus.
Grüter Hannover
- 37 Förstner U (1995) Umweltschutztechnik. 5. Aufl., Springer
- 38 Fleckenstein K (1996) Langfristige Sicherung des Rohstoffabbaus-
Können regionale Planungen das Bergrecht ersetzen. 12. Freiburger
Steine- und Erden Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg
- 39 Redecker B et al. (Hrsg.) (2002) Pasture Landscapes and Nature Con-
servation. Springer
- v. Nordheim et al. (2006) Progress in Marine Conservation in Europe,
Springer
- CEDA (2001) Environmental Aspects of Dredging. Teil 1-7, Amster-
dam
- Fingas M (2001) The Basics of Oil Spill Cleanings. Lewis Publishers,
Boca Raton/USA
- IUS (2000) Umweltverträglichkeitsstudie zum Feld Feldkamp. Hei-
delberg
- v Lukowicz M, Hilge V (2003) Probleme der Fischerei in Nord- und
Ostsee. Heft 79 Deutscher Fischereiverband, Hamburg

- 40 Patzold V, Hartmann M (2003) Kies- und Sandabbau, Folgewirkung
auf fischereiliche Ressourcen. Heft 79 Deutscher Fischereiverband,
Hamburg
- 41 Entwurf EU Habitat Regelung Beschreibung 1170
- 42 Pflug W (1998) Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Springer,
Berlin, Heidelberg, New York
- 43 Bundesamt für Gewässerkunde (2001) Anpassung der Fahrrinne der
Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. LBP, Koblenz, S 8-
11
- 44 Schmid G (1992) Deponietechnik. Vogel Buchverlag
- 45 LANU Landesamt für Natur und Umwelt (1996) mündliche Mittei-
lung, Kiel
- 46 IUS GmbH (2002) Umweltverträglichkeitsstudie Feld Weiße Bank.
Heidelberg
- 47 Hitchcock D R (1999) Investigation of Benthic and Surface Plumes as-
sociated with Marine Aggregate Mining in the United Kingdom. Final
Report
- 48 GEMIS Globales **E**missionsmodell **I**ntegrierter **S**ysteme (2000) Versi-
on 4.0. Öko-Institut, Darmstadt
- 49 Drebenstedt C, Schmieder P (2006) Untersuchungen zum Abbausys-
tem in einem Kalksteintagebau. ZKG Int. 5, bau Verlag, Gütersloh, S.
54-62
- 50 Drebenstedt C, Schmieder P (2006) Technisch-wirtschaftlicher Vari-
antenvergleich von Gewinnungs- und Fördertechnologien bei der
Nassgewinnung von Kiessanden. Heft 2, Mineralische Baustoffe
- 51 Wittke W (1937) Richtlinien für bautechnische Bodenuntersuchungen.
Deutsche Gesellschaft für Bauwesen, Repri 1997
- 52 Piatkowiak N, Wehrsig H (1996) Erkenntnisse zum Einfluß der Lager-
stättenerkundung auf die Planung eines Kieswerkes. 12. Freiburger
Steine- und Erden Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg
- 53 Floss R (1997) ZTVE Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Kirschbaum, Bonn
- 54 Bäsemann H (1979) Feinkiesanalytische und morphometrische Unter-
suchungen an Oberflächensedimenten der Deutschen Bucht. Diss.
Universität Hamburg
- 55 Koensler W (1989) Sand und Kies Mineralogie, Vorkommen, Eigen-
schaften, Einsatzmöglichkeiten. Enke Verlag, Stuttgart
- 56 Gudehus G (1981) Bodenmechanik. Enke. Verlag, Stuttgart
- 57 Sickenberg O (1951) Steine und Erden. NLFb Hannover 5. Bd. Geolo-
gie und Lagerstätten Niedersachsens
- 58 GDMB (Hrsg.) (1999) Lagerstättenkundliches Wörterbuch der deut-
schen Sprache. Clausthal-Zellerfeld

- ⁵⁹ Hantke R (1993) Flußgeschichte Mitteleuropas. Enke Verlag
- ⁶⁰ Genske D D (2006) Ingenieurgeologie. Springer
- ⁶¹ Ehlers J (1994) Allgemeine und historische Quartärgeologie. Enke Verlag
- ⁶² Reuter F (1992) Ingenieurgeologie. Deutscher Verlag für Grundstoff-industrie, Stuttgart
- ⁶³ Hamblin W K (1989) The Earth's Dynamic System. Macmillan Publishing Company, New York
- ⁶⁴ Sundborg A (1956) The River Klarälven. A study of fluvial processes, Geograf. Annaler, Vol 38
- ⁶⁵ Werner W et al. (1993) Zum Aufbau pleistozäner Kies- und Sandablagerungen des Oberrheingrabens. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 35, S 361-394; Freiburg
- ⁶⁶ PIANC (2000) Site investigation requirements for dredging works. Report on Working Group 23, Supplement to Bulletin No. 103
- ⁶⁷ Jasmund K, Lagaly G (1993) Tonminerale und Tone. Steinkopf Verlag, Darmstadt
- ⁶⁸ Heim D (1990) Tone und Tonminerale. Enke Verlag
- ⁶⁹ Wiemann J, Lesny K, Richwien W (2002) Gründung von Offshore Windenergieanlagen. Gründungskonzepte u. geotechnische Grundlagen, Verlag Glückauf, Essen
- ⁷⁰ Stieß M (1995) Mechanische Verfahrenstechnik 1. Springer, 2.Aufl.
- ⁷¹ Terzaghi K, Peck R B (1967) Soil mechanics in engineering practice. 2. Aufl., J Wiley&Sons., New York
- ⁷² Förster W, Vogt A (1991) Abschätzung der Rückgriffweite von Setzungsfließbrutungen. Neue Bergbautechnik 21 (10/11), Leipzig, S 366-371
- ⁷³ Raju V R (1994) Spontane Verflüssigung lockerer granularer Körper – Phänomene, Ursachen, Vermeidung. Diss. Fakultät für Bauingenieur- u. Vermessungswesen der Universität Karlsruhe
- ⁷⁴ KTA Kerntechnischer Ausschuss (1990) Sicherheitstechnische Regel – Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen. Teil 2 Baugrund, Köln, Berlin, S 7
- ⁷⁵ Seed H B, Idriss I M (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the soil mechanics and foundations division ASCE (93) SMO, New York, S 1249-1273
- ⁷⁶ Meyer H, Fritz L (2001) Unterwasserböschungen aus Sicht der Bodenmechanik. Zeitschrift für angewandte Geologie 47 (1), Stuttgart, S 4 -7
- ⁷⁷ Brößkamp K H et al. (1976) Seedeichbau. Theorie und Praxis, Vereinigung der Nassbaggerunternehmungen e.V., Hamburg

- 78 Kazanskij I (1978) Heterogene Gemische in Hydraulischer Feststofftransport. Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover
- 79 Verhoef P N W (1997) Wear of rock cutting tools. A A Balkema, Rotterdam
- 80 Schneiderhöhn P (1954) Eine vergleichende Studie über Methoden zur quantitativen Bestimmung von Abrundung und Form von Sandkörnern. Heidelberg, Beitr. Miner. Petrogr., 7, S 172-191
- 81 Krumbein W C (1941) Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. Jour.Sedim.Petrol., 11, S 64-72
- 82 Richardson M J (1992) Modern Placer Mining. Consolidated Placer Dredging Co., Irvine, California, USA
- 83 Patzold V (1970) Beitrag zur Frage der Kornformbestimmung mineralischer Zuschlagstoffe. Diss. TU Hannover
- 84 Bode G (2005) Verminderung des Flächenverbrauchs durch die Rohstoffgewinnung durch Maximierung der gewinnbaren und nutzbaren Vorräte von Lagerstätten im Lockergestein (Sand und Kies) unter besonderer Berücksichtigung der Gestaltung von Unterwasserböschungen. Dissertation Univ. Hannover
- 85 Patzold V (2005) Verminderung des Flächenverbrauchs durch die Rohstoffgewinnung durch Maximierung der gewinn- und nutzbaren Vorräte von Lagerstätten im Lockergestein (Sand und Kies) unter besonderer Berücksichtigung der Gestaltung von Unterwasserböschungen. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit Förderung der DBU, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Holm-Seppensen
- 86 Prinz H (1991) Abriss der Ingenieurgeologie. Enke Verlag
- 87 Busch K-F, Luckner H (1974) Geohydraulik für Studium und Praxis. Enke Verlag
- 88 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (1986) Richtlinie Alkalireaktion im Beton. Teil I – III
- 89 Weber R, Riechers H-J (2003) Kies und Sand für Beton. Verlag Bau und Technik
- 90 Wellmer F-W M (1989) Rechnen für Lagerstättenkundler und Rohstoffwirtschaftler. Clausthaler Tektonische Hefte, Nr. 25, Springer
- 91 Arnold W (1993) Flachbohrtechnik. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart
- 92 Smoltzyk U (Hrsg.) (1988) Grundbautaschenbuch. 3. Aufl., Teil 1-3, Ernst & Sohn
- 93 BDG Bildungsakademie (1994) Praxisseminar Methoden zur Erkundung von Altstandorten. Hannover
- 94 Jones E J W (1999) Marine Geophysics. J Wiley, Chichester

- ⁹⁵ Klein Associates Inc., Internetpräsentation
- ⁹⁶ DVW (2005) Hydrographie – Vermessung mit Tiefgang, 64. DVW Seminar in Wilhelmshaven, Bd. 47
- ⁹⁷ LOWAG J, v d Heuvel M (2000) Advanced sub-bottom profiler equipment for soil investigation campaigns during dredging projects. Port technology Int., PT17-26/1
- ⁹⁸ Bionic Maritime Technologies GmbH Firmeninformation
- ⁹⁹ GEOACOUSTICS Firmeninformation
- ¹⁰⁰ Goff J, Driscoll N (1999) Chirp Seismic Profiling on the New Jersey Continental Margin. Internetauftritt des Inst. für Geophysik der University of Texas
- ¹⁰¹ Georessources (Sparker), Applied Acoustics (Boomer). Firmeninformationen
- ¹⁰² Militzer H, Stötzner U et al. (1986) Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau. Enke Verlag, Stuttgart
- ¹⁰³ Thießen W (1989) Geoelektrische Messungen an der aufgeschlossenen Unterkruste in Kalabrien. Diplomarbeit an der FU-Berlin
- ¹⁰⁴ RES2DINV als eingeschränkt nutzbare Freeware unter www.geoelectrical.com zu beziehen
- ¹⁰⁵ Thießen W (1993) Magnetische Eigenschaften von Sedimenten des östlichen Südatlantiks und ihre paläomagnetische Relevanz. Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Uni Bremen, Nr. 41
- ¹⁰⁶ Geometrics, Magnetometer vom Typ G882. Firmeninformation
- ¹⁰⁷ Mapping Marine Ferrous Targets (2003) Using the SeaQuest Gradiometer System. Veröffentl. der Fa. MARINE MAGNETICS CORP
- ¹⁰⁸ Northwest Geophysical Associates, Inc., Firmeninformation
- ¹⁰⁹ Introduction to Environmental and Mining Exploration Geophysics der University of Alberta. Vorlesungsskript
- ¹¹⁰ Knödel K et al. (1997) Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 3 Geophysik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- ¹¹¹ Stema Firmeninformation. Kinderdijk/NL
- ¹¹² Verbeek P R H (1984) Soil Analysis and Dredging. Terra et Aqua No. 28
- ¹¹³ Langer A, Voss H-H (2001) Standsicherheit von Unterwasserböschungen in Lockergesteinen im Spannungsfeld zwischen Gewinnung, technischer Sicherheit und Genehmigungsverfahren. Zeitschrift für angewandte Geologie 47 (1) S 3-4, Stuttgart
- ¹¹⁴ Sächsisches Oberbergamt (1997) Richtlinie über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage. Richtlinie Geotechnik, Freiberg, S 15

- ¹¹⁵ Ausschuss für Küstenschutzwerke der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. (2002)
- ¹¹⁶ Böttger M (1983) Die Böschungsgestaltung in Baggerseen der Sand- und Kiesvorkommen des mittleren Oberrheingebietes. *Carolinea* (4), S 21 – 32, Karlsruhe
- ¹¹⁷ Schüttrumpf H (2001) Wellenüberlaufströmung bei Seedeichen – Experimentelle und theoretische Untersuchungen. Diss. Fachbereich für Bauingenieurwesen der technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, S 127
- ¹¹⁸ Runge S (2003) Grundsatzuntersuchungen zur Neigung von Unterwasserböschungen. Dipl. Arb. Arbeitsbereich Geotechnik und Baubetrieb der Technischen Universität Hamburg-Harburg, S 85, Abb 34, Tab 7, Anh 3, Hamburg
- ¹¹⁹ Böttger M, Hötzel H, Krämer S (1978) Die landschaftliche Gestaltung von Materialentnahmestellen. Beiheft (13) zu den Veröffentl. zur Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg, Karlsruhe
- ¹²⁰ Patzold V (2005) Verminderung des Flächenverbrauchs durch die Rohstoffgewinnung durch Maximierung der gewinn- und nutzbaren Vorräte von Lagerstätten im Lockergestein (Sand und Kies) unter besonderer Berücksichtigung der Gestaltung von Unterwasserböschungen. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit Förderung der DBU, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Holm-Seppensen
- ¹²¹ Preuss H, Vinken R, Voss H-H (1991) Symbolschlüssel Geologie – Symbole für die Dokumentation und automatische Datenverarbeitung geologischer Feld- und Aufschlussdaten. S 328, Stuttgart
- ¹²² DIN 4022 (1987) Benennen und Beschreiben von Boden und Feld. Deutsches Institut für Normung, Berlin
- ¹²³ Lang H J et al. (2002) Bodenmechanik und Grundbau – Das Verhalten von Böden und Fels und die wichtigsten grundbaulichen Konzepte. Springer, Berlin-Heidelberg
- ¹²⁴ Weber R, Tegelaar R (2001) Guter Beton. 20. Aufl., Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- ¹²⁵ Lange J (1993) Rohstoffe der Glasindustrie. 3. Aufl., Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart
- ¹²⁶ Tegelaar R (1998) Unterwasserbeton. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf
- ¹²⁷ Bundesverband der Deutschen Kies- und Sandindustrie e.V. (1996) Kies und Sand. 4. Auflage
- ¹²⁸ Riechers H J (2002) Gesteinskörnungen für Beton. *beton* 51, Heft 4
- ¹²⁹ Weber R, Riechers H J (2003) Kies und Sand für Beton. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf

- ¹³⁰ VP Consult GmbH (2003) Rechnergestütztes Planungssystem zur Konfigurierung und Bewertung von Aufbereitungsanlagen in der Fest- und Lockergesteinsindustrie. Forschungsbericht an AiF, Berlin
- ¹³¹ Lübke H (2004) Rechnergestütztes Planungssystem zur Konfigurierung und Bewertung von Aufbereitungsanlagen in der Lockergesteinsindustrie. Dissertation TU Hamburg-Harburg
- ¹³² Lübke H, Patzold V (2004) Produktprogrammplanung für Kies und Sand. Aufbereitungstechnik 2004
- ¹³³ Holting B (1992) Hydrogeologie. 5. Aufl., Enke Verlag
- ¹³⁴ Wehrsig H (2000) Scriptum Vorlesung Nassgewinnung TU Bergakademie Freiberg
- ¹³⁵ Piatkowiak N, Wehrsig H (1992) Nassgewinnung von Kiessand. Heft 82 GDMB, Clausthal
- ¹³⁶ Ciesielski R, Piatkowiak N et al. (1982) Grundlagen für die Berechnung von Tagebauen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 3. Auflage, Leipzig
- ¹³⁷ Simmer K (1987) Grundbau. Teil 1, Teubner, Stuttgart
- ¹³⁸ Vrijhof Ankers BV (1990) anchor manual. Krimpen/Nl
- ¹³⁹ Patzold V (1999) Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung der Auswahl und Konfigurierung von Anlagen für eine ökologische Gewinnung und den umweltschonenden Transport von Lockergestein. Von der DBU Deutsche Bundes Stiftung Umwelt gefördertes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Holm-Seppensen
- ¹⁴⁰ Köbke J-U (2000) Rechnergestütztes Planungssystem für Gewinnungs- und Förderanlagen im Lockergestein. Diss., Technische Universität Hamburg-Harburg
- ¹⁴¹ Hüster F (2003) Leistungsberechnung der Baumaschinen. 4.Aufl., Shaker Verlag, Aachen
- ¹⁴² Girnscheid G (2005) Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse. 3.Aufl., Springer
- ¹⁴³ Patzold V, Köbke J-U (1997) Gerätebedingte Gewinnungsverluste bei der Gewinnung von Kiessanden. Steinbruch & Sandgrube, Heft 11
- ¹⁴⁴ Patzold V (1996) Die Algenkaskade. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der TU Hamburg-Harburg
- ¹⁴⁵ Pennekamp J G S, Quaak M P (1990) Impact on the Environment of Turbidity Caused by Dredging. Terra et Aqua, No. 42
- ¹⁴⁶ Patzold V (1995) Genehmigungsplanung Feld Weiße Bank. Geologisches Gutachten im Auftrage der Fa. OAM Mineralien GmbH, Groß Hansdorf
- ¹⁴⁷ Lee C W (2003) A review of environmentally improved techniques for dredging contaminated mud. Technical note TN 3/2003, internet publication

- 148 Wilsdorf H (1987) Montanwesen eine Kulturgeschichte. Edition
Leipzig
- 149 Agricola G (1556) De Re Metallica Libri XII. Froben, Basel
- 150 Guettard (1745) Abhandlungen zur Beförderung der Naturkunde, der
Künste, Manufakturen und Fabriken. Wever Verlag, Berlin
- 151 Grunert M (1997) Zwischen Schlick und Mergel. Entwicklung der
Nassbaggerei in Deutschland, Redieck & Schade GbR, Rostock
- 152 Wilsens H (1986) Waterbouwkundig aan de toekomst werken. N.V. de
Vrijt, Antwerpen
- 153 IHC (2007) Firmeninformation. Kinderdijk/Niederlande
- 154 Patzold V, Drebenstedt C et al. (2006) Status of continous mine dredg-
ing of raw materials. Vortrag ISCSM, Aachen 2006
- 155 Piatkowiak N (1994) Maschineneinsätze für die Nassgewinnung. EMC
94, GDMB Clausthal
- 156 Welte A (1993) Nassbaggertechnik. Vorlesungen, Universität Karlsru-
he, Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb, Reihe V, Heft 20
- 157 Heinze H (1987) Sprengtechnik. Deutscher Verlag für Grundstoffin-
dustrie, Leipzig
- 158 Kalide W (1990) Einführung in die technische Strömungslehre. C
Hauser Verlag
- 159 SIHI Gruppe (1978) Grundlagen für die Planung von Kreiselpumpen-
anlagen
- 160 Orenstein&Koppel Firmeninformation. Lübeck
- 161 Blaum v. Marnitz F (1969) Der Schwimmbagger. Springer
- 162 Vosta LMG Firmeninformation. Lübeck
- 163 DEME System-Entwicklung, Antwerpen
- 164 Stahlwerk Augustfehn Firmeninformation
- 165 Cablearm Ltd (2006) Firmenkatalog. New York/USA
- 166 Eymer W (1995) Grundlagen der Erdbewegung. Kirschbaum, Bonn
- 167 Wegener T (2006) Vergleichende Betrachtung der Grabprozesse beim
Abbau von bindigem Boden unter Wasser am Beispiel der Gewin-
nungsstelle (Lauenburger Ton) JadeWeserPort, Wilhelmshaven. Dip-
lomarbeit Technische Universität Bergakademie Freiberg
- 168 Liebherr Int AG (1995) Technisches Handbuch Erdbewegung
- 169 Buhrke H J (1989) Strömungsförderer. Vieweg
- 170 Daniels A (1992) Kies- und Sandgewinnung mit Saugbaggern. AT
Jahrg. 33, Heft 1
- 171 Neumann E (Hrsgb.) (1958) Handbuch für Steinbrüche. Sand- und
Kiesgruben, Verlag G Hill, Berlin
- 172 Habermann Firmenkatalog. Witten

- ¹⁷³ Grabow G (1985) Vergleich hydropneumatischer und hydraulischer Förderverfahren zur Gewinnung von Kies-Sand-Gemischen. Neue Bergbautechnik 13. Jahrg, H.12
- ¹⁷⁴ Stoll R D et al. (1993) Untersuchung der Leistungsfähigkeit verbesserter Druckluftbaggertechnik bei Kies- und Sandgewinnung. AT Jahrg 34, Heft 2
- ¹⁷⁵ Minor H E (Hrsg.) (2002) Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau. Bd. 1 und 2, Int. Symposium der VAW, Zürich
- ¹⁷⁶ Holcim AG (2006) Firmeninformation. Schweiz
- ¹⁷⁷ Wakefield A D (1989) An Introduction to the Jet Pump. Stamford
- ¹⁷⁸ Press Air GmbH (2006) Firmeninformation. München
- ¹⁷⁹ Kalinina J et al. (2003) Innovative Entwicklungen des Hydrotransportes in der Bergbauindustrie. Vortrag gehalten an der TU Bergakademie Freiberg
- ¹⁸⁰ Den Dekker (2005) Firmeninformation. Lisse, Holland
- ¹⁸¹ Mierdema (2006) Report on the performance of the Trailing Suction Hopper Dredge Mellina. Unveröffentl. Gutachten im Auftrage der Fa. Krull & Zonen B.V., NL
- ¹⁸² Patzold V (1997) Erste Erfahrung mit dem Einsatz einer Positionierungsanlage. Steinbruch und Sandgrube 11/97
- ¹⁸³ Prause H (1956) Lademaschinen im Abbau. Erzmetall (9) S 159/167
- ¹⁸⁴ Dorstewitz G (Hrsg.) (1962) Schrappierhandbuch. 2.Aufl. Heft 10 GDMB, Clausthal
- ¹⁸⁵ Mannesmann Demag (2007) Firmeninformation
- ¹⁸⁶ Ulbricht F (1977) Baggerkraft bei Eimerkettenschwimmbagger, Untersuchungen zur Einsatzdimensionierung. Veröffentl. des Instituts für Maschinenwesen im Baubetrieb der Universität (TH) Karlsruhe, Reihe F, Heft 15, Kühn, Günther (Hrsg.), Karlsruhe
- ¹⁸⁷ Gebr. Grieshaber, Mannheim
- ¹⁸⁸ Bray N et al. (1997) A Handbook for dredging engineers. 2. Aufl., Arnold London
- ¹⁸⁹ Vlasblom W J, Miedema (1995) A theory for determining sedimentation and overflow losses in hoppers. WDC
- ¹⁹⁰ Dingethal F J et al. (1985) Kiesgrube und Landschaft. 2. Aufl., Paul Parey Verlag, Hamburg 1985
- ¹⁹¹ Jade Weser Port Realisierungsgesellschaft mbH Internetveröffentlichung
- ¹⁹² Möbius Bau AG (2005) Firmeninformation
- ¹⁹³ VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen
- ¹⁹⁴ NOAA Northern Oceanic and Atmospheric Administration (2003) NOS Hydrographic Surveys Specification and Deliverables
- ¹⁹⁵ Helmus F P (2003) Anlagenplanung, Wiley-VCH, Weinheim

- 196 Böhlinger P, Höfl K (?) Baustoffe wiederaufbereiten und verwerten.
AVS-Institut GmbH, Unterhaching
- 197 Kuiters W J et al. (1999) Sand nach Maß. GDMB Schriftenreihe Heft
84
- 198 Dörner K (1997) Qualitativ hochwertige Sande mit anspruchsvoller
Technik in der neuen Sandaufbereitung des Kieswerkes Pinnow. Auf-
bereitungs-Technik 38 Nr. 1, S 27/32
- 199 Reimers C (2002) Beitrag zur optimierenden Planung von Prozessen
und Anlagen für die Aufbereitung von Sand und Kies. Diplomarbeit
TUHH
- 200 Höfl K (?) Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Schlütersche Ver-
lagsanstalt und Druckerei GmbH, Hannover
- 201 Schubert H (1989) Aufbereitung fester mineralogischer Rohstoffe. Bd.
1, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 4. Aufl., Leipzig
- 202 Schmidt P et al. (2003) Sieben und Siebmaschinen. Wiley-VCH,
Weinheim
- 203 Trawinski H (1972) Aufstromklassierer. Ullmann's Encyklopädie der
Techn. Chemie. Band 2, Seite 70/80, 4. Auflage, Verlag Chemie,
Weinheim
- 204 Eagle Ironworks Firmenkatalog. USA
- 205 mab Schauenburg Firmeninformation. Mülheim/Ruhr
- 206 Rosenkranz J (1999) Rechnergestützte Fließschemasimulation und Op-
timierung komplexer Feststoffprozesse. Diss. Technische Universität
Hamburg-Harburg
- 207 Töbermann J C (1999) Flowsheet simulation of solid processing – The
development of a simulation system and its application to soil wash-
ing. Diss. Technische Universität Hamburg-Harburg
- 208 Betrieb Kieswerk Ostufer der Fa. Kies- und Schotterwerke Bordes-
holm GmbH
- 209 Patzold V, Lübke H Forschungsbericht
- 210 Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (2000) BGL Baugeräteliste.
Bauverlag GmbH, Wiesbaden
- 211 Rogers R (1982) Classification Function for Vibrating Screens. Pow-
der Technology, 31, p. 135-137
- 212 Hentschel W (1990) Waschen und Läutern – zum gegenwärtigen
Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse und deren Anwendung. Auf-
bereitungstechnik 31, S 126-130
- 213 Plitt L R (1971) The Analysis of Solid-Solid Separations in Classifiers.
CIM Bulletin 64, p 42-47
- 214 Hartge E U et al. (2006) SolidSim – Ein Werkzeug für die Fließsche-
masimulation von Feststoffprozessen. Aufbereitungs Technik 47, Nr.
1-2, S. 1-10

- ²¹⁵ Hartge E.U et al. (2006) Flowsheet Simulation of Solid Processes. MPMSC Conference, June 6-7, Sudbury, Ontario, Canada
- ²¹⁶ Kleiber W (1997) Wertermittlungsrichtlinien und Normalherstellungskosten 1995. 6.Aufl., Bundesanzeiger Verlag
- ²¹⁷ Gähje H (1980) Bewertung der Nassbagger und der sich anschließenden Transportkette im Schelfbereich unter Anwendung eines EDV-Modells
- ²¹⁸ Pausenberger (1962) Wert und Bewertung. Poeschel Verlag, Stuttgart
- ²¹⁹ BewG Bewertungsgesetz, §9 Abs: 2
- ²²⁰ Rössler et al. (1990) Schätzung und Ermittlung von Grundstückswerten. 6. Aufl., Luchterhand
- ²²¹ Slaby D, Wilke L (2005, 2006) Bergwirtschaftslehre. Teil I und Teil II, Verlag der Technischen Universität Bergakademie Freiberg
- ²²² CIRIA (2006) Cost standards for dredging equipment 2005
- ²²³ Samson Bedrijfsinformatie (1995) Kostennormen voor aanemersmaterieel. NIVAG, 11. Aufl., VGBouw, Zoetermeer
- ²²⁴ Gruhn G (2005) Scriptum Vorlesung Prozess- und Anlagentechnik. TU Hamburg-Harburg
- ²²⁵ Helfrich F, Schubert W (1973) Schema zur Kalkulation der Investitionskosten von Anlagen. Chem.-Ing. 45 Nr. 13, S.891-897

10 SACHWORTVERZEICHNIS

A

Abbauführung 180, 182
Abbaugenehmigung 34
Abbauscheibe 186
Abbausystem 180
Abbauverluste 158
Abraum 182
Abzinsungsfaktor 403
Adhäsion 78
Aeroklassieren 357
Agitationsbagger 204
Airliftbagger 242
Airliftverfahren 239
Akustische Dichtesondierung 148
Akustische Verfahren 119
alkalireaktiv 101
Antragskonferenz 13, 39
Antriebsleistung 225, 228
Arbeitspfahl 246
Arbeitstiefe 242
Aufbereitung 4
Auflockerungsgrad 92
Aufstromklassierer 362
Ausbeutegrad 254
Ausbeutemaximierung 4
Ausdünnung 251
Ausfallzeit 192
Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen 37
Auslegerschrapper 255
Ausrichtung 181

B

Backenbrecher 197
Baggerpumpe 213

Bankhöhe 246
Baugeräteliste 408
Baugrund 4
BD 258
Becherwerk 254
Beladeverfahren nach Klassieren 249
Bergrecht 13, 33, 399
Beschäftigungsgrad 192
Betriebsüberschuss 407
Betriebszeit 191
Bewertung 400
Bewilligungsfeld 251
Bindemittel 22
BL 203
Bodenarten 73
Bodenaufnahme 213
Bodenbildung 70
Bodenklassifikation 72
Bodenmanagement 181
Bodenverflüssigung 86
Bohrung 12
Boomer 127
Böschung 188
Böschungsbaggerung 188, 189
Braunkohle 72

C

Cablearm-Greifer 224
Chirp-Sonar 126
christmas-tree winch 188
CSD 204, 245
cut off grade 251
CWD 248

D

DD 204
Dichte 94
Divisionskalkulation 25
Doppelschneidrad 219
dredging 15
Drehbohrung 111
Drehfaktor 193
Druckerhöhungsstation 231
Druckluft 238
Druckluftverfahren 238
Drucksondierung 113
druckwasseraktiviert 236, 251
Druckwasseraktivierter
 Grundsaugbagger 235
Druckwasseraktivierter Saugbagger
 231
Druckwasseraktivierung 235

E

EAU 18
ECSD 201
Eimer 221
Eimerform 222
Eimerkettenbagger 204
Eimerleiter 254
Eindicker 375
Eingriff 34
Elektomagnetische Verfahren 139
Endböschung 18
Energiekosten 411
Entwässerungsschlitz 223
Entwässerungssieb 197, 371
Erkundung 4, 59
Erkundungskosten 410
Erörterungstermin 39
Erosion 64
Ersatzanschaffung 410
Ersatzinvestition 404, 410
Ertragswert 402

F

Fächerlot 121
Feinsandverlust 223

Fels 81
FFH-Gebiet 33
FFH-Verträglichkeitsprüfung 34
Flächenlot 121
Flachwasserzone 182
fließgefährdet 233
Fließgrenze 92
Flügelsondierung 109
Flusssystem 67
Folgenutzung 402
Förderzins 24, 399
Freifallklassierer 347
Freizeitnutzung 39
Fremdbetrieb 233

G

Gelenkrollenschrapper 255
Gemischdichte 95
Gemischleistung 251
Gemischstrom 235
Genehmigungsgeber 32
Genehmigungsplanung 12, 31
Goelektrik 129
Geophysik 117
geotechnischen Parameter 4
Geotextil 202
Gewässertrübung 198
Gewinnung
 kreisf 182
 mehrstreifig 182
 sektorenweise 182
 sternförmig 182
Gewinnungstiefe 235
Gewinnungsverlust 189, 255
Gewinnungsverluste 194
 unvermeidbare 194
 vermeidbare 194
Gleichstrom-Goelektrik 131
Grabkurve 224, 260
Grableistungsberechnung 225
Grabtiefe 280
Grabwiderstand 225, 227
Greiferbohrung 111
Grenzgehalt 251
Grobrost 197

Grund- und Schlussreparatur 191
 Grundsaugbagger 204, 231
 Grundsaugbagger mit Traktorkette 237
 Grundwasser 181
 Grundwasserstockwerk 11
 Gütegrad der Bodenaufnahme 212

H

Haltepfahl 246
 Hauptbetriebsplan 41
 Hochdruckwasser 221
 horizontaler Verhieb 185
 Hubleistung 225
 Hydraulisches Lösen 212
 Hydrogeologie 12
 Hydroklassieren 357
 Hydromechanisches Lösen 211
 Hydrozyklon 197

I

in situ Dichte 146
 Investitionsentscheidung 28

J

Jetverfahren 239
 Jetwasseranlage 235

K

Kartenhausstruktur 77
 Kaufpreis 410
 Kavitation 214, 215
 Kerngeophysikalische
 Dichtesondierung 146
 Kette
 umlaufend 237
 Kies 81
 Klassierprozess 336
 Klauben 369
 Kohäsion 78
 Kolbenpumpe 236
 Kombiniertes Verhieb 185
 Kompensationsbedarf 37

Konsistenz 92, 221
 Kornform 88, 89
 Korngrößen 83
 Kostenkalkulation 12
 Kreisel 214
 Kübel 257
 Kugeldurchgang 214

L

Laderauminhalt 208
 Laderaumsaugbagger 200, 220, 249
 Lagern 24
 Lagerstätte 59, 60
 Lagerstättenarten 61
 Landschaftspflegerischer
 Begleitplan 12
 Längsklärbecken 252
 Lärm 36
 Lebensdauer 402
 Lebenszeit 191
 Leitfähigkeit 117
 Liefergebiet 65
 Liegende 11
 Linearverhieb 187
 Lockergestein 60
 Löffelvolumen 258
 Lohnbaggerei 25
 Lohnkosten 411
 Lösehilfe 233, 235
 Löseverfahren 210
 Lösewerkzeug 188
 LTD 201
 Lufthebeverfahren 107

M

Mäanderverhieb 187
 Magnetisierbarkeit 117
 Makrozoobenthos 38
 Materialdichte 117
 Mechanisches Lösen 211
 mehrarmig 229
 Mehrkammerklassierer 360
 Mehrstreifenabbau 251
 Meißel 217
 Messerlänge 228

mine dredging 15
 Mischen 24
 Monitor 206
 Monitoring 41
 Multipol-Geoelektrik 134

N

Nachfolgenutzung 39
 Nassbagger 230
 Nassgewinnung 4, 33
 Naturschutz 32
 Nebenarbeitszeit 192
 Neubau 249
 Niederrhein 165
 Nordseekies 166
 NPSH-Wert 215

O

Oberrhein 69
 overflow dredging 200

P

Parametrisches Sedimentecholot 125
 Petrographie 165
 Piston Corer 116
 Plastizitätszahl 93
 Polypgreifer 222
 Porenraum 98
 Porenzahl 99
 Prozesswasser 374
 Pumpengehäuse 214

R

Rahmenbetriebsplan 41
 Rammkernbohrung 107
 Raumordnungsverfahren 33
 Reißkraft 260
 Rekultivierung 36, 182
 Rekultivierungsmaßnahme 237, 410
 Renaturierung 36
 Rentenbarwertfaktor 403
 Reparaturkosten 411
 Restlagerstätte 223

Restwert 410
 Rohstoffkosten 411
 Rollige Böden 81
 Rundungsgrad 89

S

Sachwert 402
 Sand 81
 Sauberkeitsschnitt 195
 Saugbagger für große Tiefen 231, 238
 Saugleitung 196
 Saugmund 219
 Schädliche Bestandteile 100
 Schallausbreitungsgeschwindigkeit 117
 Schallgeschwindigkeit 124
 Schaufelradbagger 204
 Scherfestigkeit 78, 97
 Schichtenverzeichnis 12
 Schlagfestigkeit 91
 Schlämmanalyse 84
 Schleppkopf 220
 Schleppschaufelbagger 256
 Schlick 76
 Schmiermittel 411
 Schneckenbohrung 105
 Schneidarm 217
 Schneidbügel 229
 Schneidkante 222
 Schneidkopf 215, 228
 Schneidkopfdurchmesser 228
 Schneidkopfsaugbagger 204
 Schneidleistung 225
 Schneidrad 217, 229, 248
 Schneidradbagger 219
 Schneidradsaugbagger 231, 248
 Schneidwiderstand 227
 Schnitteinteilung 185
 Schnittsichel 186
 Schnittwinkel 186
 Schöpflöffelbagger 204
 Schöpfrad 197
 Schrapper 255
 Schrappgefäß 255

Schürfgrube 117
 Schüttdichte 95
 Schüttgutverlust 216
 Schutzgut 13
 Schutzgüter 34
 Schwenkgeschwindigkeit 219
 Schwenkwinkeinfluss 279, 280
 Schwerkraftbohrer 116
 Schwermetalle 35
 Schwertrübesortierer 347
 Schwertwäsche 369
 Schwimmender Eimerkettenbagger 261
 Schwimmgreiferbagger 208
 Schwimmleitung 233
 Scopingtermin 13, 39
 SD 203
 Sedimentecholot 124
 Sedimentfracht 66
 Seegang 231
 Selbstkosten 412
 Setzungsfließen 86
 Sichelverhieb 187
 Sicherheitsberme 86
 Siebdurchgang 84
 Sinkgeschwindigkeit 252
 Software 28
 Sondierung 105
 Sortierung 364
 Spangeometrie 227
 Sparker 127
 spezifischer Widerstand 130
 Spielzeit 280
 Spielzeitfaktor 279
 SPT 108
 Spülbohrung 106
 Stechrohr 249
 Steinfangkasten 196
 Steinfangkorb 9
 Steinsohle 9
 Stelzenpontonbagger 208, 258
 Stillstandszeit 191
 Strahldüse 238
 Stückkosten 25
 Substanzwert 403

Suspension 224
 Suspensionsfracht 199

T

Teilfeld 183
 THSD 200
 Tieflöffel 203, 224
 Tieflöffelbagger 253
 Tiefsaughopper 241
 Tischvorlage 39
 Toleranzbaggerung 17
 Tonminerale 77
 Torfbildung 71
 Traktorkette 9
 Traktorkettensaugbagger 231
 Transport 65
 Transportentfernung 6
 Trennen 23
 Trockenanalyse 84
 Trockendichte 95
 Trockengewinnung 21
 Trogklassierer 360
 Trübung 41, 199

U

Überlaufverfahren 249
 Überlaufverlust 252
 Umweltverträglichkeitsstudie 12, 33
 Ungleichförmigkeitsgrad 84
 Unterhaltungsbaggerung 239
 Unterwasserpumpe 215, 238

V

Van-Veen-Greifer 104
 Verflüssigung von Böschungen 86
 Verflüssigungspotential 87
 Verfügungszeit 191
 Verhieb 185
 Verhiebart 185
 Verhiebrichtung 185
 Verkehrswert 24, 400
 Verkippen 9
 Verschleiß 90

verschleißfest 205, 233
 Verschleißkosten 411
 Versicherung 412
 vertikaler Verhieb 185
 Vertikallot 119
 Verunreinigung 22
 Verwendungsmöglichkeit 1
 Verwindungssteifigkeit 248
 Voraufbereitung 196
 Vorhalde 195
 Vorräte 85
 Vorratsermittlung 156
 Vorrichtung 182

W

Waschen 203
 Wasserstand 202

Wellenhöhe 231
 Wertermittlung 24, 401
 WID 203
 Wiedernutzbarmachung 36
 Wirtschaftlichkeit 24
 Wirtschaftlichkeitsanalyse 404

Z

Zementation 70
 Zementationsvorgänge 71
 Zerkleinern 23
 Zerkleinerung 377
 Zerkleinerungsprozess 336
 Zukunftserfolg 402
 Zuschlagskostenkalkulation 25
 Zustandszahl 94
 Zwischenmittel 10