

vestitionen und Betriebskosten, bezogen auf den maximalen Erhalt der Nährstoffe, errichtet und instand gehalten werden kann. Zur maximalen Erhaltung der Nährstoffe bei geringstem Aufwand an Investitionen und Betriebskosten ist bekannt, das Rauhfutter nach einem kurzen Anwelkprozeß in einem Schober zu belüften und damit schnell auf den zulässigen Feuchtigkeitsgehalt herabzusetzen. Zur Vermeidung des direkten Eindringens von Regen- und Tauwasser wird der Belüftungsprozeß des Schobers möglichst in einer Scheune bzw. zur Verringerung der Investitionen unter

einem einfachen Dach vorgenommen. Nachteilig ist jedoch dabei, daß bei größerem Abstand zwischen Schuppendach und Schoberoberfläche noch zuviel Feuchtigkeit von oben eindringen kann. Gemäß der Erfindung (Bild 3) werden diese Nachteile beseitigt, indem unter dem eigentlichen Schuppendach a, das wegen der auftretenden Last durch Regen, Schnee, Wind usw. entsprechend stabil ausgeführt sein muß, ein in Leichtbauweise ausgeführter und in jede beliebige Höhe hebbarer Schutzschirm b angeordnet ist. Dieser Schutzschirm b weist entsprechende Belüftungsschlitze auf, so daß

trotz fast unmittelbarer Abdeckung des Schobers die mit Feuchtigkeit angereicherte Belüftungsluft ungehindert nach oben aus dem Schober austreten kann. Das Füllen dieses Lagers erfolgt durch eine ganzflächige schichtweise Beschickung. Die Lage des Schutzschirmes b wird der jeweiligen Schoberhöhe angepaßt. Die Auslagerung erfolgt durch geeignete Heuentnahmegeräte, wobei der Schutzschirm b auf Schoberhöhe verbleibt.

Pat.-Ing. M. Gunkel, KDT

A 2691

## Bestimmung der Bodendichte in dünnen und oberflächennahen Schichten mit Hilfe der Dichtesonde DS-10

Dipl.-Ing. J. Konzack, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik

### 1. Problemstellung

In Abhängigkeit vom Ausgangs- und dem geforderten Endzustand, die durch die Bodenparameter gekennzeichnet sind, sollen die Bodenbearbeitungswerkzeuge den Boden wenden, zerkleinern, lockern, mischen, einebnen und/oder verdichten, wobei sich der Vorgang auf bestimmte Schichtdicken oder auf Tiefenlagen von Schichten erstrecken soll [1]. Ein wichtiger Parameter zur Kennzeichnung des Arbeitsergebnisses ist die Dichte des Bodens (Lagerungsdichte, häufig auch als Feuchtraumdichte, Naßdichte oder scheinbare Dichte bezeichnet). Das Arbeitsergebnis kann um so besser ermittelt werden, je genauer die Dichte der bearbeiteten Bodenschicht (von der Pflugsohle bis zur Bodenoberfläche) kontinuierlich erfaßt werden kann. Dazu ist ein Meßverfahren erforderlich mit

- hoher Auflösung von Bodenschichten unterschiedlicher Dichte
- geringer Störanfälligkeit gegen Randeinflüsse bei Messungen in Oberflächennähe
- geringem gerätetechnischen und personellen Aufwand.

### 2. Radiometrische Dichtemessung

Die Bodendichtemessung mit ionisierender Strahlung ist ein indirektes Meßverfahren, bei dem die von einer radioaktiven Quelle ausgesandte energiereiche Gammastrahlung von einem Detektor teilweise aufgenommen und über ein Strahlungsmeßgerät in Form von Impulsen erfaßt wird. Die Wechselwirkung des durchstrahlten Mediums mit der Strahlung wird durch das Schwächungsgesetz beschrieben:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu' \rho a} \quad (1)$$

- I Strahlenintensität am Detektor
- $I_0$  Strahlenintensität der Quelle
- $\mu'$  Massenschwächungskoeffizient
- $\rho$  Dichte des durchstrahlten Mediums
- a Abstand Quelle — Detektor.

Durch den Boden werden die Strahlen gestreut, absorbiert bzw. die Strahlen durchdringen ihn. Nach dem Anteil der Strahlen, die man zur Dichtebestimmung benutzt, unterscheidet man Rückstreusonden und Absorptionssonden (Bild 1).

Die Streuung und Absorption der Strahlung durch den Boden treten bei beiden Sondenarten

auf. So wird z. B. bei einer Rückstreusonde zwar nur Streustrahlung gemessen, ihre Intensität wird aber auch durch die Absorption der Strahlung durch den Boden bestimmt [2].

Zur Kalibrierung der Dichtesonde wird die Zählrate N bei Durchstrahlung von Boden mit definierter Dichte bestimmt. Dichte und Zählrate stehen in folgender Beziehung zueinander:

$$\lg N = m \cdot \rho + b; \quad (2)$$

N Zählrate

$\rho$  Bodendichte

b, m Parameter der Geradengleichung.

Der bei der Kalibrierung ermittelte Zusammenhang zwischen Zählrate und Bodendichte gilt infolge des ständigen Aktivitätsabfalls der Strahlungsquelle, der sinkenden Nachweisempfindlichkeit des Detektors und der wechselnden Umweltbedingungen nur in einem eng begrenzten Zeitraum. Dadurch ist die Korrektur der Meßzählraten erforderlich. Dazu werden bei der Kalibrierung eine Nullzählrate  $N_0$  und vor den jeweiligen Messungen eine Vergleichszählrate  $N_{01}$  aufgenommen, bei denen sich die Quelle im Aufbewahrungscontainer befindet. Die Zählrate zur Ermittlung der Bodendichte bei den Messungen erhält man aus der Beziehung:

$$N = N_1 \frac{N_0}{N_{01}}; \quad (3)$$

N Zählrate zur Ermittlung der Bodendichte entsprechend der Kalibrierung

$N_1$  Zählrate der Messung

$N_0$  Nullzählrate (am Tag der Kalibrierung aufgenommen)

$N_{01}$  Vergleichszählrate (am Tag der Messung aufgenommen).

### 3. Dichtesonde DS-10

Die Dichtesonde DS-10 ist eine Absorptionssonde, die als Gabel ausgeführt ist, d. h. Strahlungsquelle und Detektor sind voneinander getrennt in je einem Sondenast angeordnet.

Die radioaktive Quelle kann mit Hilfe einer Schraubverbindung zur Aufbewahrung im Bleicontainer (entsprechend den Sicherheitsbestimmungen) von der Gabel getrennt werden, ohne daß sie dabei berührt werden muß. Die Sondenäste sind zylindrisch und haben einen Durchmesser von 25 mm. Eine Halterung garantiert einen konstanten Abstand zwischen Quelle und Detektor von 325 mm und dient gleichzeitig zum Einstellen der Meßtiefe. Damit beim Einbringen der Sonde in den Boden dessen Dichte weitestgehend unverändert bleibt, werden für die Sondenäste mit einem speziellen Bohrgerät Löcher in den Boden gebohrt.

Die vom Detektor der Dichtesonde DS-10 erfaßte Gammastrahlung setzt sich zusammen aus auf direktem Weg von der Quelle zum Detektor gelangender, durch Absorption geschwächter Strahlung und Streustrahlung. Die auf direktem Weg zum Detektor gelangte, durch Absorption geschwächte Strahlung gibt Auskunft über den kleinen Bodenbereich, der zwischen Quelle und Detektor durch gerade Linien abgegrenzt werden kann [2, 3]. Die Streustrahlung, die den Detektor erreicht, hat einen wesentlichen Anteil an der vom Detektor erfaßten Strahlung und kann zu groben Fälschungen der Meßergebnisse führen. Diese Fälschungen treten besonders bei der Messung der Bodendichte in der Nähe aneinander grenzender verdichteter und weniger verdichteter Bereiche und im oberflächennahen Bereich durch die von der Bodendichte beeinflusste Streuung bzw. durch

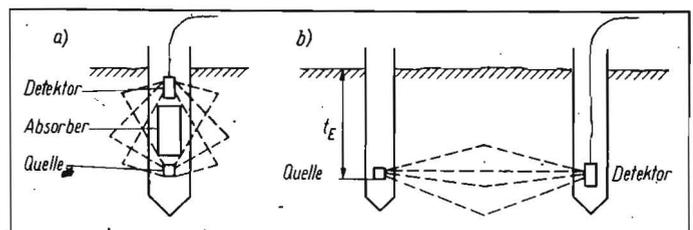


Bild 1  
Sonden zur Dichtemessung;  
a) Rückstreusonde  
b) Absorptionssonde

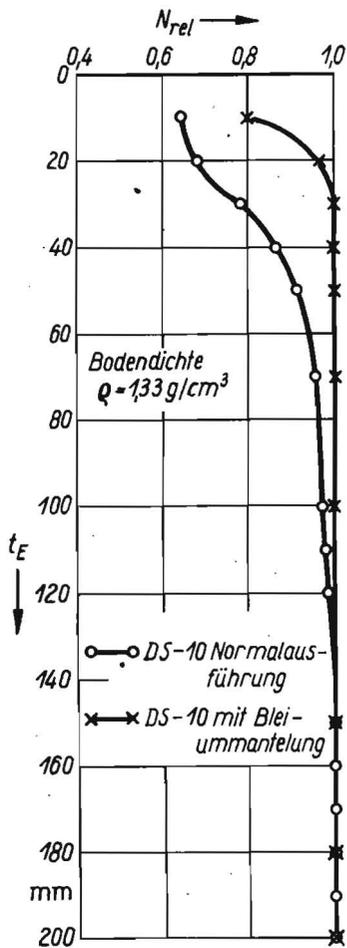


Bild 3. Relative Zählrate  $N_{rel}$  in Abhängigkeit von der Meßtiefe  $t_E$  bei zwischen Quelle und Detektor eingeschlossenem Körper mit unterschiedlicher Lage und Dichte

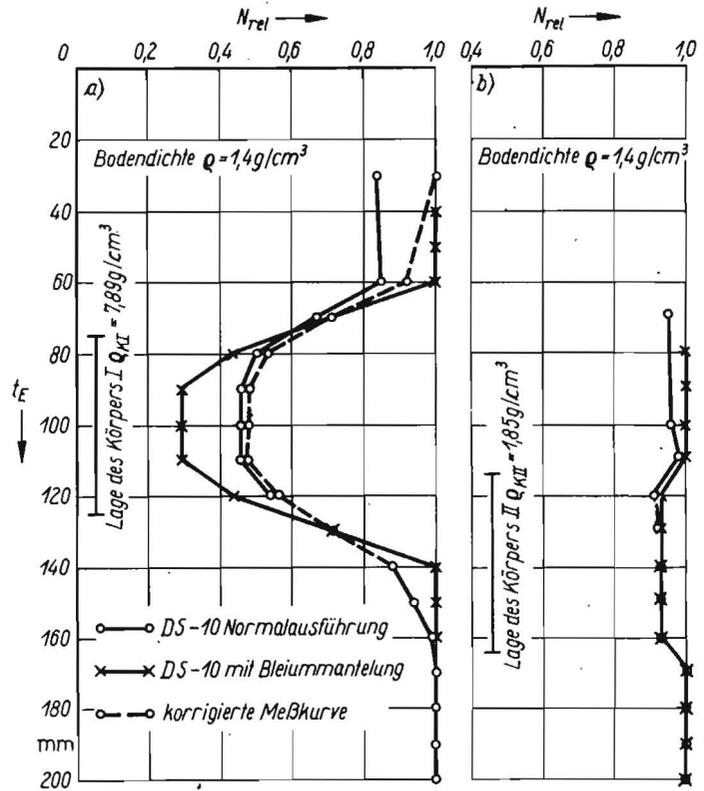


Bild 2. Relative Zählrate  $N_{rel}$  in Abhängigkeit von der Meßtiefe  $t_E$  für die Dichtesonde DS-10 in Normalausführung und mit Bleiummantelung von Quelle und Detektor

fehlende Streustrahlung aus dem Bereich oberhalb der Bodenoberfläche auf (Bilder 2 und 3).

#### 4. Veränderte Dichtesonde DS-10

Das ungenügende Auflösungsvermögen von Dichte-Grenzschichten durch die Dichtesonde DS-10 war Anlaß zu ihrer Veränderung. Dabei geht man davon aus, daß von der Quelle die Strahlung räumlich abgegeben wird und daß ein Teil der Streustrahlung aus allen Richtungen des Raumes zum Detektor gelangt. Der Anteil der Streustrahlung, der zum Detektor gelangt, soll durch eine zusätzliche Abschirmung von Quelle und Detektor mit Hilfe einer Bleiummantelung verringert werden (Bild 4). Durch die Verringerung der zum Detektor gelangenden Streustrahlung, was eine bessere Kollimierung des Strahlenbündels bedeutet, ist die Erfassung eng begrenzter Bodenbereiche besser möglich (Bild 3).

#### 5. Versuchsergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen mit der Dichtesonde DS-10 wurden unter Laborbedingungen (Sandkasten) durchgeführt [4]. Die Versuchsergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Helbig und Beer [2], daß bei der Dichtesonde DS-10 ein Einfluß der Bodenoberfläche auf die Zählrate bis zu 150 mm Meßtiefe vorhanden ist (Bild 2). In der Meßtiefe von 70 mm beträgt der Fehler 5% und nimmt bei Messungen zur Oberfläche hin stark zu. Bei einer Meßtiefe von 10 mm beträgt der Fehler der Zählrate 36%. Dies entspricht einem Fehler in der ermittelten Bodendichte von 14%. Daraus ist ersichtlich, daß die Meßwerte der Dichtesonde DS-10 zur Bestimmung der Bodendichte in Oberflächennähe,

wie sie z. B. bei der Ermittlung der Dichte eines Saatbetts erforderlich ist, nicht geeignet sind. Durch Verwendung eines Korrekturfaktors  $K$ , der von der Meßtiefe  $t_E$  abhängig ist, soll es ermöglicht werden, auch im Bereich des Oberflächeneinflusses eine genauere Dichtebestimmung vorzunehmen [5]. Feldversuche haben jedoch gezeigt, daß die Grenze zwischen Luft und Boden nicht so eindeutig bestimmt werden kann, wie es unter Laborbedingungen der Fall ist, so daß für diese Bedingungen die Verwendung eines Korrekturfaktors im oberflächennahen Bereich nicht sinnvoll ist. Bei gleicher Versuchsanordnung und -durchführung konnten beim Einsatz der Dichtesonde DS-10 mit Bleiummantelung wesentlich bessere Ergebnisse erzielt werden (Bild 2). Die Zählrate wird erst bei Meßtiefen  $t_E < 30$  mm durch die Bodenoberfläche beeinflusst. Bei 10 mm Meßtiefe beträgt der Fehler der Zählrate 20%. Dies entspricht einem Fehler in der ermittelten Bodendichte von 8%, bei 20 mm Meßtiefe von 2%. Daraus ist ersichtlich, daß die Dichtesonde DS-10, bei der Quelle und Detektor durch eine Bleiummantelung teilweise abgeschirmt werden, wesentlich besser zur Bestimmung der Bodendichte im oberflächennahen Bereich geeignet ist. Bei weiteren Untersuchungen wurden in den Sandkasten Körper mit höherer Dichte als der umgebende Boden eingebracht. Diese Körper (Abmessungen 200 mm  $\times$  50 mm  $\times$  50 mm, Dichte  $\rho_{K1} = 7,89$  g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_{K2} = 1,85$  g/cm<sup>3</sup>) befanden sich in der Mitte zwischen Quelle und Detektor, wobei der Boden, in den diese Körper eingebettet waren, auf eine Dichte von  $\rho = 1,4$  g/cm<sup>3</sup> verdichtet wurde (Bild 5). Bei einem Dichtesprung  $\Delta\rho = 6,49$  g/cm<sup>3</sup>, bei dem der Körper I aus Stahl mit der Dichte  $\rho_{K1}$  verwendet wurde, traten wesentliche Unter-

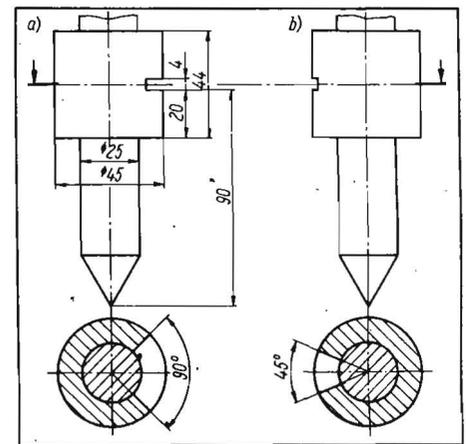


Bild 4. An der Dichtesonde DS-10 zusätzlich angebrachte Abschirmung;  
a) Bleimantel um die Quelle  
b) Bleimantel um den Detektor

schiede in den Zählratenverläufen beider Sonden auf (Bild 3a).

Bei der Dichtesonde DS-10 wird die Zählrate in einem größeren Bereich vor und nach dem Dichtesprung beeinflusst, wobei der Körper im Einflußbereich der Bodenoberfläche liegt, als bei der Dichtesonde DS-10 mit Bleiummantelung. Das ist auf den vom Detektor der Dichtesonde DS-10 mit Bleiummantelung erfaßten geringeren Anteil der Streustrahlung zurückzuführen. Der geringere Anteil der erfaßten Streustrahlung wird auch durch den stärkeren Abfall der relativen Zählrate bei dieser Sonde deutlich sichtbar. Bei einem

Dichtesprung  $\Delta\rho = 0,45 \text{ g/cm}^3$ , bei dem der Körper II aus Boden mit der Dichte  $\rho_{KII}$  verwendet wurde, ist der Verlauf der Zählrate über der Meßtiefe bei beiden Sonden gleich (Bild 3b). Unterschiede ergeben sich durch den Einfluß der Bodenoberfläche bei der Dichtesonde DS-10 ohne Bleiummantelung.

Die Genauigkeit, mit der eine höhere verdichtete Schicht erfaßt werden kann, ist abhängig vom Dichtesprung  $\Delta\rho$  zwischen den angrenzenden Schichten, den Schichtdicken sowie von der Tiefenlage der Schichten. Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen darauf schließen, daß bei geringen Dichteunterschieden zwischen den angrenzenden Schichten von beiden Sonden der Dichtesprung ab Schichtdicken von rd. 2 cm mit gleicher Genauigkeit erfaßt werden kann (Bild 3b). Bei größeren Dichteunterschieden kann mit der Dichtesonde DS-10 mit Bleiummantelung der Dichtesprung mit höherer Genauigkeit bei geringerer Schichtdicke als bei der normalen Sonde DS-10 erfaßt werden (Bild 3a).

## 6. Zusammenfassung

Ein wesentlicher Nachteil der Dichtesonde DS-10 ist ihr ungenügendes Auflösungsvermögen von Dichtegrenzschichten, das auf den vom Detektor erfaßten Anteil von Streustrahlung zurückzuführen ist. Dabei wird besonders bei Messungen im oberflächennahen Bereich

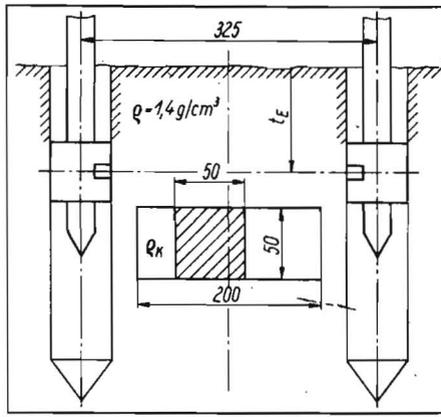


Bild 5. Versuchsaufbau bei zwischen Quelle und Detektor eingebettetem Körper mit höherer Dichte als der umgebende Boden

das Meßergebnis durch die vom Detektor nicht erfaßte Streustrahlung aus dem Bereich oberhalb der Bodenoberfläche stark beeinflusst. Die Verwendung eines Korrekturfaktors zur genaueren Bestimmung der Dichte in geringer Meßtiefe ist unter Feldbedingungen nicht sinnvoll, da die Grenze zwischen Luft und Boden nicht eindeutig bestimmt werden kann.

Durch eine zusätzliche Abschirmung von Quelle und Detektor der Dichtesonde DS-10 wird infolge des geringen Anteils der Streustrahlung an der vom Detektor erfaßten Gesamtstrahlung das Meßergebnis durch die Bodenoberfläche bei Meßtiefen  $< 30 \text{ mm}$  (bei der Dichtesonde DS-10 ohne Bleiummantelung bei Meßtiefen  $< 150 \text{ mm}$ ) beeinflusst. Bodenverdichtungen in einzelnen Schichten können mit Hilfe der Dichtesonde DS-10 mit Bleiummantelung wesentlich besser ermittelt werden.

## Literatur

- [1] Soucek, R.: Zu einigen Fragen des technischen Standes der Bodenbearbeitungsgeräte in der DDR und deren Weiterentwicklung. agrartechnik 24 (1974) H. 1, S. 23—29.
- [2] Helbig, W.; Beer, M.: Bodendichtemessung mit Gammastrahlen. Archiv für Landtechnik 5 (1965) H. 2, S. 182—203.
- [3] Helbig, W.: Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse der Bodendichtemessung mit Gammastrahlen. Albrecht-Thaer-Archiv 11 (1967) S. 1117—1130.
- [4] Scholz, H.: Untersuchungen der Einsatzgrenzen einer veränderten Dichtesonde DS-10. Technische Universität Dresden, Sektion Kfz-, Land- und Fördertechnik, Ingenieurpraktikumsbeleg 1978.
- [5] Bedienungsanleitung für die Dichtesonde DS-10 Technische Universität Dresden, Sektion Kfz-, Land- und Fördertechnik, 1970.

A 2756

# Rationelle Gewinnung, Aufbereitung und Verwendung von Seeschlamm

Dipl.-Landw. S. Keydel, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt  
Dr. J. Reinhold, ZBE Düngestoffe Groß Kreutz, Bezirk Potsdam

## 1. Einleitung

Der Seeschlamm wird gegenwärtig in der Pflanzenproduktion und in erster Linie für die meliorative Aufbesserung leichter Sandböden in Intensivobstanlagen und z. T. auch im Gemüsebau eingesetzt. Darüber hinaus hat er generelle Bedeutung für die Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. Seine nachhaltige Wirkung auf den Ertrag basiert hauptsächlich auf seinem Feinerdegehalt und dem Anteil an organischer Substanz. Um die geplante Steigerung der Pflanzen- und vor allem der Obst- und Gemüseproduktion in den 80er Jahren zu erreichen, ist der Seeschlamm in Gebieten mit abbaubaren Vorkommen zum unerläßlichen Intensivierungsfaktor geworden.

## 2. Ermittlung der Vorzugstechnologie für die Seeschlammproduktion

Die in den Bildern 1 bis 4 dargestellten Fließschemata veranschaulichen die Einflußfaktoren sowie deren Auswirkungen und Bedeutung für die Bestimmung der Vorzugstechnologie zum Abbau von Seeschlamm, zum Transport auf dem Wasser, zur Art des Umschlags und zur Gestaltung der Umschlagstelle. Die Ermittlung des Abbauverfahrens und die Bestimmung der leistungsbestimmenden Maschine (Hydraulikbagger, Seilzugbagger, Eimerkettenbagger oder Saugspülbagger) werden im Bild 1 veranschaulicht. Der Transport des Seeschlammes auf dem Wasser kann in Abhängigkeit vom Abbauverfahren und von der Entfernung zur Um-

schlagstelle in Schuten verschiedener Lademasse oder in Spülrohren erfolgen (Bild 2). Die Art der Seeschlammnahme aus den Schuten in Abhängigkeit von der Seeschlamm-

konsistenz wird im Bild 3 erörtert, wogegen die Gestaltung der Umschlagstelle aus Bild 4 hervorgeht.

Tafel 1  
Leistung und Arbeitszeitbedarf beim Einsatz des UB 80/UB 1212 zur Seeschlammförderung in Abhängigkeit von differenzierten Einsatzbedingungen

Seeschlammkonsistenz	Baggertiefe m	Lademasse/Schute t	Leistung in $T_{08}$ $\text{m}^3/\text{h}$	Arbeitszeitbedarf $\text{AKh}/1000 \text{ m}^3$
breiig bis plastisch	5	250	70,8	14,1
	7	250	66,0	15,2
	9	250	63,9	15,6
stichfest	5	400	77,9	12,8
	7	400	72,2	13,9
	9	400	69,6	14,4
stichfest	5	250	83,3	12,0
	7	250	77,7	12,9
	9	250	75,2	13,5
stichfest	5	400	91,7	10,9
	7	400	85,0	11,8
	9	400	81,9	12,2

Tafel 2  
Effektives Ladevolumen von Schuten in Abhängigkeit von der Lademasse und der Seeschlammkonsistenz

Seeschlammkonsistenz	effektives Ladevolumen in $\text{m}^3$		
	Lademasse: 100 t	250 t	400 t
fließfähig	63	154	245
breiig bis plastisch	76	187	298
stichfest	90	220	350