

## **E 5-8 Qualitätslenkung und statistische Prüfkriterien bei feinkörnigen Abdichtungsmaterialien**

Stand: GDA 1997

### **1 Allgemeines**

Im Rahmen des geotechnischen Qualitätsmanagements entsprechend E 5-1 ist bei einer plangemäßen Lenkung und Prüfung der Qualität von Abdichtungen mit feinkörnigen Böden aufgrund korrelativer Zusammenhänge der bodenphysikalischen Kennwerte im Sinne von E 5-2 zu erwarten, dass die erforderliche Dichte erreicht und der Durchlässigkeitsbeiwert zuverlässig eingehalten oder unterschritten wird. Dazu werden hier im Rahmen des Qualitätsmanagements Prüfschritte für feinkörnige Böden angegeben.

Bei diesen Prüfschritten ist durch die zusätzliche Anwendung des Wasseraufnahmeversuches zu erwarten, dass bei allen beteiligten Prüflabors eine Reduzierung des Zeitaufwandes erfolgt und bei mineralischen Basis- und Oberflächen-Abdichtungen eine zügige Bauausführung erreicht wird.

In Anlehnung an die statistische Prüf-Methode M I der ZTVE-StB 94 besteht außerdem die Möglichkeit, die Qualitätslenkung und Qualitätsüberwachung durch Beachtung statistischer Kriterien zu optimieren. Hierzu werden die Richtwerte für die statistische Qualitätszahl und Zuverlässigkeit angegeben, die sich in der Praxis bei Abdichtungen mit feinkörnigen Böden bewährt haben [1].

Diese statistischen Prüfkriterien können in gleicher Weise bei der Qualitätsprüfung mineralischer Dichtwandmassen Anwendung finden, wie im letzten Abschnitt gezeigt wird.

Die statistischen Kriterien gehen sowohl über die Prüfkriterien der TA Abfall bzw. TA Siedlungsabfall, als auch der ZTVE-StB 94 hinaus. Sie erlauben die zuverlässige Übertragung der Qualitätsprüfungen an Stichproben auf die Fläche des gesamten Prüfloses, sowie vergleichende statistische Bewertungen zwischen verschiedenen Bedingungen der Materialgewinnung, des Einbaues oder von Prüflostteilen.

### **2 Qualitätslenkung bei feinkörnigen Abdichtungsböden**

#### **2.1 Verfahrensweise**

Mit zunehmender Bindigkeit bzw. Plastizität des feinkörnigen Bodenmaterials nehmen bei gleichbleibendem Verdichtungsgrad die Proctor-Bezugswerte des Wassergehaltes zu und die zugehörigen Trockendichten ab.

Die bodenphysikalischen Kennwerte für die Bindigkeit, bzw. für die plastischen Eigenschaften eines Bodens, streuen auch bei einheitlich erscheinendem Abdichtungsmaterial einer feinkörnigen bindigen Bodengruppe in Abhängigkeit von den plastischen Eigenschaften entsprechend einer Normalverteilung (s. Bsp. Bild 5-8.1).

Es empfiehlt sich deshalb für den praktischen Feldeinsatz, an Hand der Eignungsprüfungs- und Probefeld-Ergebnisse nach E 3-1 und E 3-5 die zugehörige Bandbreite der Kennwerte als Richtwerte abzustimmen und diese plangemäß den 8 Prüfschritten der Tabelle 5-8.1 zugrunde zu legen.

### Prüfschritt 1

Erste Voraussetzung für jede Qualitäts-Lenkung und -Prüfung durch die beteiligten Labors ist die einheitliche Handhabung der Bodenansprache d. h. die Beurteilung der Identität, Bodenart bzw. Bodengruppe und Konsistenz des feinkörnigen, mineralischen Abdichtungs-Bodens in erster Linie nach den plastischen Eigenschaften und erst in zweiter Linie nach der Kornverteilung, wie für feinkörnige Böden in DIN 4022-1 und DIN 18 196 normativ festgelegt.

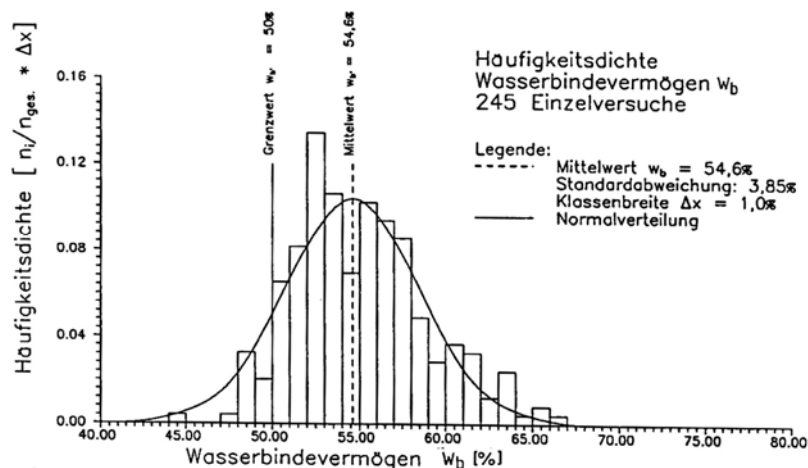


Bild 5-8.1: Häufigkeits- und Normal Verteilung Wasseraufnahmeversuche nach [2] bzw. DIN 18 132, Beispiel Bodengruppe TL/TM [1]

D. h. entsprechend der bodenphysikalischen Dominanz der plastischen Eigenschaften ist bei den feinkörnigen Böden durch zusätzliche Kornverteilungs-Analysen keine Qualitäts-Verbesserung zu erreichen [1] und [2]. Die o. a. exakte Bodenansprache ist deshalb die Grund-Voraussetzung für ein positives Ergebnis der Qualitätsprüfung.

### Prüfschritt 2

Bei der Entnahme der Sonderproben aus Klein-Schürfungen nach E 5-2, Bild 5-2.1 ist im Prüfschritt 2 erneut die Identität und Konsistenz gem. DIN 4022-1 und DIN 18 196 sowie die Homogenität gemäß E 5-2, Tabelle 5.2-1 zu prüfen.

Falls die entsprechenden Kriterien nicht ausreichend erfüllt sind, kann gem. E 5-2 die Prüfung abgebrochen und eine Überarbeitung des beanstandeten Bereichs der Abdichtungs-Schichtlage ohne weitere Laborversuche verlangt werden.

### Prüfschritte 3 und 4

Für die Wassergehalts-Bestimmung nach DIN 18 121-1 sind im Feldlabor die Möglichkeit einer Ofentrocknung sowie eine Mikrowellen-Trocknung für Schnellversuche vorzusehen. Bei der Eignungsprüfung sind mit beiden Trockenverfahren Versuche durchzuführen, um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können.

Tabelle 5-8.1: Prüfschritte und bodenphysikalische Richtwerte der Qualitäts-Lenkung u. -Prüfung Beispiel Bodengruppe TL/TM [1]

1	Identität und Konsistenz aller Stichproben der Güteklasse 1 bis 3 während und nach dem Einbau in einfachen Feldversuchen gem. DIN 4022-1 zum Vergleich mit Bodengruppe nach DIN 18 196 gem. Eignungsprüfung			
2	Dokumentation des Einbauzustandes nach GDA, E5-2 bei der Entnahme der Sonderproben (Bild 5-2.1) und Checkliste Tabelle 5-2.1			
	Identität	- Bodenart nach DIN 4022-1 und 18 196 - Struktur und Konsistenz - Freiheit von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Makroporen</li> <li>• Schrumpfkissen</li> <li>• Grobkornnestern</li> <li>• Fremdmaterial</li> </ul>		
	Homogenität			
Konsistenz	- Dichte Einbettung einzelner Grobkörner oder Fremdmaterialreste - „steif gem. Feldversuch DIN 4022-1, Ziff. 8.13 c): „der Boden lässt sich schwer kneten, aber noch zu 3 mm dicken Walzen ausrollen ohne zu reißen oder zu zerbröckeln“			
3	Wasseraufnahmevermögen DIN 18 132 und [2]			Richtwerte
	$W_A$ bzw. $W_b$ [%]	55	60	65
4	Wassergehalt, DIN 18 121 Richtwerte			
	min. $W_n$ [%]	14,5	15,0	15,5
	max. $W_n$ [%]	17,5	18,0	18,5
5	Wasserbindegrad nach [2] gem. Norm- Verweis DIN 18 132 Richtwerte			
	min. $W_{bg}$ [%]	27	25	24
	max. $W_{bg}$ [%]	32	30	28
6	Proctor-Dichte, DIN 18 125 und DIN 18 127 Richtwerte			
	$\rho_d^{100}$ [t/m <sup>3</sup> ]	1,810	1,780	1,750
	$\rho_d^{97}$ [t/m <sup>3</sup> ]	1,756	1,727	1,700
7	Kennwert-Tabellendarstellung gem. GDA, E5-2, Tabelle 5-2.2 Bei positivem Ergebnis der Prüfschritte bis 6 Freigabe zum Weiterbau			
8	Wasserdurchlässigkeit DIN 18 130-1			$k_f < 5 \cdot 10^{-10}$ m/s Grenzwert <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ergebnisvorlage spätestens zur Teilabnahme von Dichtungsabschnitten

Gemäß Norm-Verweis 1 [2] zur DIN 18 132 ist bei der Durchführung des Wasseraufnahmeversuchs zu beachten:

- Für Zwecke der Identifizierung und Klassifizierung, d. h. der Qualitäts-Lenkung und -Prüfung ist der Wasseraufnahmeversuch nach [2] zusammen mit dem Sandkornanteil  $< 2,0$  mm zu ermitteln.
- Um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erhalten, ist eine einheitlich feine Proben-Pulverisierung erforderlich, die bei maschineller Pulverisierung 10 Minuten lang vorzunehmen bzw. zwischen den beteiligten Labors abzustimmen ist.
- Aus Gründen der Probenidentität ist der Versuch mit der pulverisierten Wassergehalts- Trockenprobe durchzuführen.
- Der Wasseraufnahme-Versuch benötigt bei mineralischem Abdichtungsmaterial der Bodengruppe TL und TM höchstens 4 oder 8 Minuten, bis zwischen den 3 letzten Ableseungen die gemäß DIN 18 132 erforderliche Konstanz der Wasseraufnahme erfolgt ist. Dies gilt erfahrungsgemäß auch für schwach bindiges Abdichtungsmaterial, das mit Bentonit konditioniert ist, um die plastischen Eigenschaften der Bodengruppe TL zu erreichen.
- Eine Versuchsdauer von 24 Stunden gemäß TA Abfall, Anhang E, ist für den *Enslin-Neff*-Versuch bei normalen Abdichtungsböden der Bodengruppen TL bis TA gem. DIN 18 132 somit nicht erforderlich. Lediglich bei der Prüfung von Bentoniten als Konditionierungsmaterial ist der Versuch 24 Stunden lang durchzuführen.

Die vergleichende Zuordnung der Wasseraufnahme (nach [2] auch Wasserbindevermögen genannt) zu den Plastizitäts- und Bodengruppen-Bereichen gemäß DIN 18 196 ist der Tabelle I und 2 der DIN 18 132 bzw. hier Tabelle 5-8.2 zu entnehmen.

Tabelle 5-8.2: Zuordnung des Wasseraufnahmevermögens  $W_A$  zu Plastizitäts- und Bodengruppenbereichen nach Tab. 1 und 2 DIN 18 132 (1995)

Bereich $W_A$	$W_A$ [%]	Plastizität (DIN 4022-1)	Bodengruppe (DIN 18 196)
sehr niedrig	$<40$	keine bis sehr geringe	SE, SU, $S\bar{U}$ , ST, $S\bar{T}$
niedrig	40-60	leicht plastisch	UL, TL
mittel	60-85	mittel plastisch	UM, TM
hoch	85-130	ausgeprägt	TA
sehr hoch	$>130$	plastisch	TA

### Prüfschritt 5

Der aus dem Wassergehalt und der Wasseraufnahme des Prüfschrittes 4 nach *Neff* 1988 [2] ermittelte Wasserbindegrad  $W_{bg}$  erlaubt die vergleichsweise Konsistenzbeurteilung und Zuordnung zu den Konsistenz-Bereichen  $I_c$  der Tabelle 5-8.3. Zusätzliche Fließ- und Ausrollgrenzen-Versuche sind dann nur untergeordnet erforderlich.

Tabelle 5-8.3: Bereich des Wasserbindegrades  $W_{bg}$  und der Konsistenz  $I_c$  (nach NEFF [2] gemäß Norm-Verweis 1 DIN 18 132)

Bereich Wasserbindegrad $W_{bg}$ [%]	Konsistenz- Bereich DIN 4022-1	Konsistenzzahl $I_c$ DIN 18 122-1
<20	halbfest bis fest	>1,0
20 bis 40	steif	1,0 bis 0,8
40 bis 50	steif bis weich	0,8 bis 0,7
50 bis 60	weich bis breiig	< 0,7 bis < 0,5

Anmerkung: Zur Beibehaltung der Proben-Identität und zur Ermittlung des Wasserbindegrades ist nach [2] das Wasseraufnahmevermögen ohne Entfernung des Sandkorns > 0,4 mm zu bestimmen.

Wasserbindegrad:

$$W_{bg} = \frac{\text{nat. Wassergehalt}}{\text{Wasseraufnahmevermögen}} \cdot 100 [\%]$$

#### Prüfschritt 6

Bei der Bestimmung der Proctor- Dichte ist u. a. das Volumen der verwendeten Entnahme-Zylinder nachzumessen, um vergleichbare Ergebnisse der beteiligten Labors zu erhalten.

#### Prüfschritt 7

Die Darstellung der Prüf-Ergebnisse in Form von Boden-Kennwert-Tabellen nach E 5-2, Tabelle 5-2.2 erlaubt nach korrelativen Gesichtspunkten einen nach Bodenart und Bodenzustand geordneten Vergleich der in Prüfschritt 3 bis 5 ermittelten bodenphysikalischen Kennwerte. Sind die Anforderungen der Prüfschritte erfüllt und ist die erforderliche Proctordichte im Prüfschritt 6 eingehalten, so kann im Prüfschritt 7 die Freigabe zum Weiterbau erfolgen.

#### Prüfschritt 8

Gemäß Prüfschritt 7 muss das Ergebnis des Durchlässigkeitsversuches nicht abgewartet und der erreichte Durchlässigkeitsbeiwert kann im Prüfschritt 8 zu einem späteren Zeitpunkt vorgelegt werden und dann die Abnahme erfolgen.

## 2.2 Richtwerte für Bodengruppe TL/ TM (Beispiel)

Aufgrund der Probefeld-Verdichtungsergebnisse waren im Beispiel nach [1] die 20 cm dicken Abdichtungslagen aus eignungsgeprüftem Lößlehm-/ Löß-Material mit je 6 Verdichtungsübergängen mittels Schafffußwalze (gedrungene Trapezstollen) und Glattmantelwalze (je 5 bis 6 t Arbeitsgewicht) zu verdichten, nachdem zuvor das Material in einem Mischfeld durch Fräsen homogenisiert und auf die erforderlichen Bodenart- und Bodenzustandskennwerte im Sinne der Prüfschritte 1 bis 5 mit Wassergehalts- u. ggf. Bentonit- Konditionierung eingestellt worden war.

Für die Prüfschritte 3 bis 6 ist dazu in Tabelle 5-8.1 als Beispiel für die eingebaute Bodengruppe TL/ TM eine zwischen Eigen- und Fremdprüfung sowie Behördenkontrolle abgestimmte Bandbreite der einzuhaltenden Richtwerte der bodenphysikalischen Kennwerte angegeben, um im Prüfschritt 6 u. 7 die Freigabe zum Weiterbau zu erteilen, sowie den erst später in Prüfschritt 8 erforderlichen Nachweis des Wasserdurchlässigkeits-Grenzwertes erfahrungsgemäß sicherzustellen.

Durch zeitliche Abstimmung zwischen der Fertigstellung der Abdichtungsschicht, Probenahme und Feldlabor-Untersuchung kann mit den relativ rasch durchzuführenden Versuchen nach Prüfschritt 1 bis 6 (bei Mikrowellen-Trocknung) und dem parallel laufenden Aufmass der Schichtdicke, im Prüfschritt 7 noch am gleichen Tag bzw. bereits 3 bis 4 Stunden nach Beginn der Probenahme, die Freigabe für den Weiterbau erfolgen.

### 3 Statistische Prüfkriterien

#### 3.1 Statistische Kenngrößen

Zur statistischen Beurteilung der Qualitäts- Prüfungsergebnisse wird die Qualitätszahl Q und zusätzlich die Zuverlässigkeitszahl Z wie folgt ermittelt:

Qualitätszahl Q:

Die Qualitätszahl Q wird gem. Prüfmethode M1 der ZTVE-StB 94 aus dem arithmetischen Mittel und der Standardabweichung der Messwerte für einen Parameter (vgl. Bild 5-8.1) nach Gleichung (1) bis (4) bestimmt.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$Q = \frac{\bar{x} - T_M}{S} \quad (3)$$

$$Q = \frac{T_H - \bar{x}}{S} \quad (4)$$

Darin bedeuten

$x_i$	Einzelergebnis
$\bar{x}$	Mittelwert der Ergebnisse
$n$	Anzahl der Ergebnisse
$S$	Standardabweichung (Normalverteilung)
$T_M$	Mindest-Quantil (Unterer Grenzwert für den betrachteten Parameter)
$T_H$	Höchst-Quantil (Oberer Grenzwert für den betrachteten Parameter)

Zuverlässigkeitszahl Z:

Für einen Parameter, dessen Variation durch eine Normalverteilung beschrieben werden kann, lässt sich mit Hilfe der Qualitätszahl Q die Wahrscheinlichkeit dafür berechnen, dass der geforderte untere oder obere Grenzwert für den Parameter nicht unter- oder überschritten wird. *Plate* [3] bezeichnet diese Wahrscheinlichkeit als Zuverlässigkeit. Sie berechnet sich für einen normalverteilten Parameter als

$$Z(Q) = \int_{-\infty}^Q \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}Q^2} \cdot dQ \quad (5)$$

Hierzu ist im Diagramm Bild 5-8.2 der entsprechende Zusammenhang zwischen Z und Q dargestellt. Z kann hieraus nach Ermittlung von Q genau genug abgegriffen werden.

### 3.2 Statistische Prüfkriterien für mineralische Oberflächen und Basisabdichtungen

Zusätzlich zu der Qualitätslenkung und -Überwachung nach Abschnitt 2 können bei mineralischen Abdichtungen statistische Prüfkriterien zugrunde gelegt werden.

Aus Bild 5-8.2 ist zu entnehmen, dass die für Tragfähigkeits-Anforderungen nach ZTVE-StB 94 ausreichende Qualitätszahl  $Q = 0,88$  nur der statistischen - für die Straßenbau-Verdichtungsprüfungen ausreichenden - Zuverlässigkeit  $Z=80\%$  entspricht.

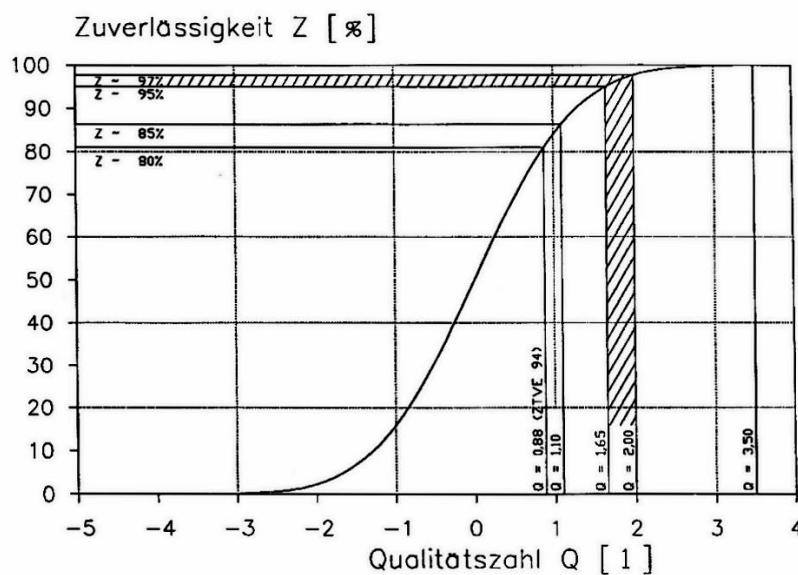


Bild 5-8.2: Statistische Zuverlässigkeit Z und Qualitätszahl Q bei standardisierter Normalverteilung nach Plate [3]

Für die Anforderungen an mineralische Abdichtungsschichten werden dagegen gem. Tabelle 5-8.4 wesentlich höhere Anforderungen an die statistischen Richtwerte gestellt, um ein zuverlässiges Abdichtungsergebnis zu erhalten [1]. Dazu werden u.a. neben der erfahrungsgemäß erforderlichen Stichprobenzahl gefordert für

#### Prüfschritt 3

- Stoff-Kennwerte  $Q \geq 1,10 \rightarrow Z \geq 90 \%$

#### Prüfschritt 4 bis 6

- Zustands-Kennwerte  $Q \geq 1,65 \rightarrow Z \geq 95 \%$

#### Prüfschritt 8

- Durchlässigkeits-Beiwerte mit  $Q = 2,0 \rightarrow Z > 97 \%$

Tabelle 5-8.4: Richtwerte für statistische Nachweise Beispiel Bodengruppe TL/TM [1]

Versuche, Kennwerte	Grenzwerte	Stichproben- teilfläche max [m <sup>2</sup> ]	Quali- tätszahl Q[ ]	Zuver- lässig- keit Z [%]	Mindest- versuche für Q u. Z. <sup>1</sup>
Feld- Versuche gem. Prüfschritten 1 u. 2					
Identität und Konsistenz		500	/	/	/
Dokumentation Einbauzustand		1000	/	/	/
Stoff-Kennwerte gem. Prüfschritt 3					
Wasseraufnahme- vermögen <sup>2</sup>	>50% >55%	500	1,1	>90	10
Stichprobenzahl für Tongehalt, Fließgrenze $W_1$ , Plastizität $I_c$ , Kalkgehalt $V_{ca}$ , Glühverlust $V_{gl}$ nach besonderer Festlegung gem. Eignungsprüfung u. Probefeldverdichtung					
Procter-Versuch	$D_{pr}/W_{pr}$	4000	/	/	/
Zustands Kennwerte gem. Prüfschritt 4 bis 6					
Wassergehalt	$W_n > W_{pr 100}$ $W_n < W_{pr 97}$	500	1,65	>95	10
Wasserbindegrad	$W_{bq} > 25 \%$ $W_{bg} < 32 \%$	500	1,65	>95	10
Proctordichte	$D_{pr} > 97\%$	1000	1,65	>95	10
Beanspruchungs-Kennwerte gem. Prüfschritt 8					
Durchlässigkeits- beiwert $k_f^{2, 3}$	$k_f \leq 1$ E-9m/s $k_f \leq 5$ E-10m/s	2000	2,0	>97	10

<sup>1</sup> Mindestzahl der Versuche für statistische Auswertung nach Q und Z

<sup>2</sup>  $W_A$  bzw.  $W_b$  nach [2] > 50 % für  $k_f < 1 \cdot 10^9$  m/s

$W_A$  bzw.  $W_b$  nach [2] > 55 % für  $k_f < 5 \cdot 10^{40}$  m/s

Logarithmische Normalverteilung

Vergleiche zwischen der für eine Normalverteilung gültigen Gleichung (5) und der für eine log-Normalverteilung gültigen Gleichung haben für  $Z > 95 \%$  ergeben, dass  $Z_{normal} \sim Z_{log}$  [1], so dass auch beim log-normalverteilten Durchlässigkeitsbeiwert näherungsweise die Gleichung 5 verwendet werden kann.

Sind die genannten Bedingungen erfüllt, so ist erfahrungsgemäß damit zu rechnen, dass in Prüfschritt 8 der geforderte Durchlässigkeitsbeiwert mit hoher Wahrscheinlichkeit ( $Z > 97 \%$ ), d. h. im Sinne der TA Abfall bzw. TA Siedlungsabfall ausreichend zuverlässig eingehalten wird [1].

Damit ist auch die Aussage gesichert, mit welcher statistischen Zuverlässigkeit  $Z$  der Durchlässigkeits-Grenzwert in jedem Punkt der geprüften Fläche des Prüfloses zutrifft. Dies ist bisher keine Forderung der TA Abfall bzw. TA Siedlungsabfall, sollte aber im Sinne eines DIN-gemäßen Qualitäts-Managements gem. E 5-1 erreicht werden und ist für weitergehende Risikobetrachtungen ggf. auch erforderlich.

In Fällen, in denen Zweifel bestehen, ob mit den erst später vorzulegenden Wasserdurchlässigkeitsversuchs-Ergebnissen in Prüfschritt 8 eine ausreichende Abdichtungsqualität nachgewiesen werden kann, stellt der zusätzliche Nachweis von  $Q$  und  $Z$  zu den Prüfschritten 3 bis 6 eine zuverlässige Grundlage für die Entscheidung dar, ob das Unternehmer-Risiko, evtl. die überbaute Abdichtungsschicht mangels ausreichender Abdichtung später nochmals freilegen und überarbeiten zu müssen, bei der Freigabe zum Weiterbau vom Auftraggeber akzeptiert werden kann.

Schließlich liefert die statistische Auswertung nach  $Q$  und  $Z$  für die Abnahme der Prüflose bzw. für den Qualitäts-Vergleich zwischen mehreren Prüflosen eine nachvollziehbare Bewertungs-Grundlage im Rahmen der Qualitätsüberwachung für mineralische Basis- und Oberflächenabdichtungen.

### **3.3 Statistische Prüfkriterien für mineralische Dichtwandmassen**

Durchlässigkeitsprüfungen an Rückstellproben verschiedenen Alters von einer Einphasen-Schlitzwand in quartär-tertiären Sedimenten des Rhein/Main-Gebietes zeigen als Beispiel nach Tabelle 5-8.3 für ein Probenalter von 56 Tagen eine Häufigkeitsverteilung der  $k_f$ -Werte entsprechend einer log-Normalverteilung. Die an den gleichen Proben nach [2] bzw. DIN 18132 durchgeführten Wasseraufnahmeversuche entsprechen einer Normalverteilung (siehe Bild 5-8.3 und 5-8.4).

Die zugehörige statistische Auswertung zeigt gem. Tabelle 5-8.5, dass in Bezug auf den geforderten Grenzwert die statistische Zuverlässigkeit ebenso wie die Qualitätszahl mit dem Probenalter, d. h. in Abhängigkeit vom Fortschreiben des Abbindevorganges der mineralischen Dichtmasse-Suspension aus Zement, Bentonit und feinkörnigem Boden zunimmt.

Parallel zur Zunahme der Abdichtungswirkung ist gem. Tabelle 5-8.5 auch eine altersabhängige Zunahme der Wasseraufnahme vorhanden, was auf die chemisch-physikalischen Veränderungen beim Abbindeprozess der Dichtmasse zurückzuführen ist.

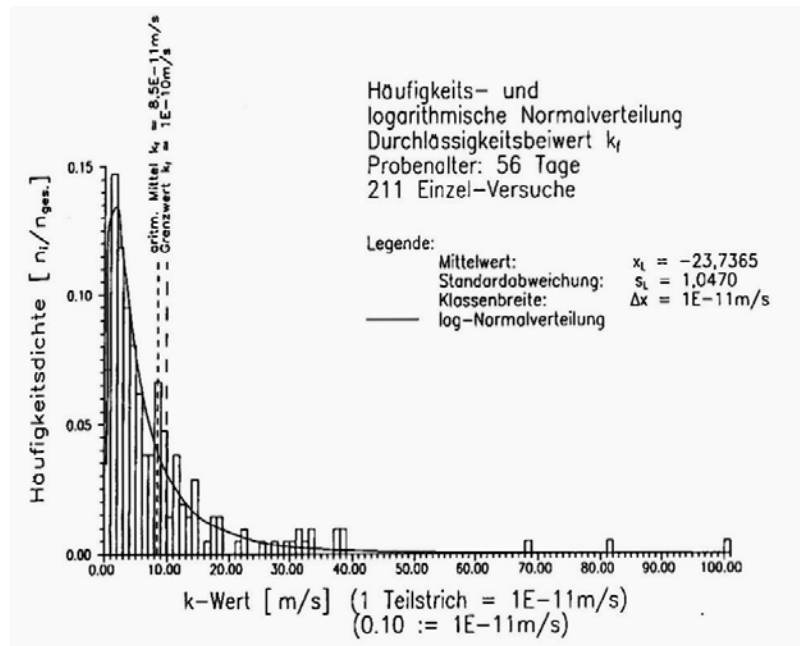


Bild 5-8.3: Häufigkeits- und log-Normalverteilung  
Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  mineralische Dichtwandmasse  
Beispiel: Probenalter 56 Tage gem. Tab. 5-8.5

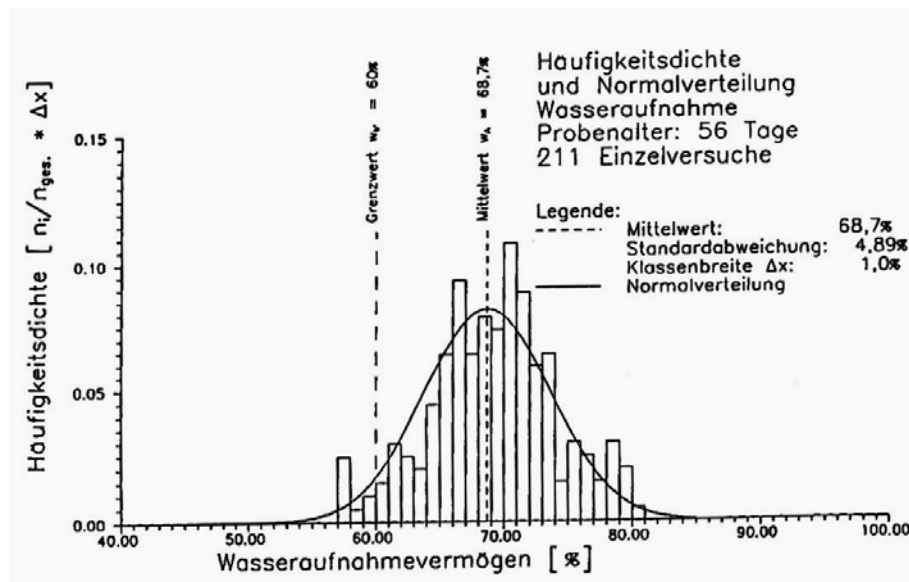


Bild 5-8.4: Häufigkeits- und Normalverteilung Wasseraufnahme nach [2]  
bzw. DIN 18 132 Mineralische Dichtwandmasse  
Beispiel: Probenalter 56 Tage gem. Tab. 5-8.5

Tabelle 5-8.5: Statistische Prüfkriterien Mineralische Dichtwandmasse Beispiel für Fertigmischung

Kennwert	Grenzwert <sup>1</sup>	Anzahl Versuche	Mittelwert	Qualitätszahl Q[1]	Zuverlässigkeit Z
Mischungsverhältnis (Frischproben) 230 kg DiWa-mix K 230 + 920 kg Wasser/m <sup>3</sup>					
Rückstellproben der Schöpfproben aus dem Schlitz (Schichtenfolge rd. 10 m Sand mit Kies + 20 m Ton mit Sand-Linsen)					
Wasseraufnahme					
0 Tage	>65%	1038	59,1 %	-0,80	21,2 %
28 Tage	>65%	383	66,8 %	0,33	62,9 %
56 Tage	>65%	393	68,5 %	0,68	75,2 %
84 Tage	>65%	237	70,2 %	0,93	82,4 %
168 Tage	>65%	97	74,5 %	1,79	96,3 %
336 Tage	>65%	24	77,7 %	2,55	99,4 %
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ (log. Normalverteilung)					
28 Tage	< 1 E-10 m/s	188	20,0 E- 11 m/s	-0,30	38,2 %
56 Tage	< 1 E-10 m/s	211	8,5 E- 11 m/s	0,68	75,2 %
84 Tage	< 1 E-10 m/s	70	6,6 E- 11 m/s	0,91	81,9 %
168 Tage	< 1 E-10 m/s	46	4,6 E- 11 m/s	1,42	92,2 %
Erweiterte Alters-Prüfung					
336 Tage	< 1 E-10 m/s	12	3,7 E- 11m/s	1,78	96,3 %

<sup>1</sup> Zur Darstellung der altersabhängigen Entwicklung wurde für alle Altersstufen der Grenzwert des Endalters angesetzt.

Aufgrund dieser Versuchserfahrungen sind für mineralische Dichtwandmassen in Bezug auf das Alter der Rückstellproben abgestufte Grenzwerte die statistischen Richtwerte gemäß Tabelle 5-8.6 zu empfehlen.

Im Einzelfall sind diese Kriterien im Rahmen der Eignungsprüfung nach E 3-2 in Abhängigkeit von der gewählten Dichtmasserezeptur und nach den Ergebnissen des Probewandbaues bzw. des 1. Bauabschnittes zu modifizieren. Die ermittelten statistischen Zuverlässigkeits-Trends können dann auch bei der Qualitätslenkung für die weiteren Bauabschnitte berücksichtigt werden.

Tabelle 5-8.6: Richtwerte für statistische Prüfkriterien Mineralische Dichtwandmasse

Kennwert und Alter Rückstellproben		Grenzwert <sup>1</sup>	Richtwert Qualitätszahl [Q] [1]	Richtwert Zuverlässigkeit Z[%]
Rückstellproben von Fertigmischungen gem. Tabelle 5-8.5				
Wasseraufnahme				
0 Tage	Schöpfprobe	>55%	>0,5	>69
28 Tage	Alter	>60%	>0,88	>81
56 Tage	-	>60%	>1,5	>93
84 Tage	Alter	>65%	>0,88	>81
168 Tage	-	>65%	>1,35	>91
336 Tage	-	>65%	>1,76	>96
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ (log. Normalverteilung)				
28 Tage	Alter	< 5 E-10 m/s	>1,35	>91
56 Tage	-	< 5 E-10 m/s	>1,76	>96
84 Tage	Alter	< 1 E-10 m/s	>0,88	>81
168 Tage	-	< 1 E-10 m/s	>1,35	>91
336 Tage	-	< 1 E-10 m/s	>1,76	>96

<sup>1</sup> Abstufung in Abhängigkeit vom Probenalter

**Literatur zu E 5-8:**

- [1] NEFF, H. K.: Geotechnische Maßnahmen zur Sicherung und Ertüchtigung einer Großdeponie. Fortschritte in der Qualitätssicherung am Beispiel Dreieich-Buchsschlag. Vortrag Seminar Deponien und Altlasten, RWTH Aachen, Prof. Dr.-Ing. Wittke, 1996.
- [2] NEFF, H. K.: Der Wasseraufnahmeversuch in der bodenphysikalischen Prüfung und geotechnische Erfahrungsweite. Die Bautechnik 65, S. 153 bis 163, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1988 (gemäß Norm-Verweis I der DIN 18132).
- [3] PLATE, E. J.: Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1. Auflage 1993.