

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Döscher, Hans-Dieter

Die Suspensionswand

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102976>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Döscher, Hans-Dieter (1977): Die Suspensionswand. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 41. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 9-22.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



11	DIE SUSPENSIONSWAND	1. Einleitung
12		2. Das Schlitzwandverfahren
13	The self setting slurry wall	3. Die Herstellung der Schlitzwand in zwei Arbeitsschritten
13		3.1. Das Verfahren
13		3.2. Das Dichtungsmaterial
13		4. Die Herstellung einer Abdichtungsschlitzwand in einem Arbeitsschritt
13		4.1. Das Verfahren
14		4.2. Das Dichtungsmaterial
14		4.2.1. Die Anforderungen an das Dichtungsmaterial
15		4.2.2. Das Untersuchungsverfahren
15		5. Die Eigenschaften des Dichtungsmaterials
15		5.1. Der Wassergehalt
15		5.2. Der Raumgewicht
15		5.3. Der Zustand des Dichtungsmaterials
15		5.4. Die Druckfestigkeit
16		5.5. Der Einfluß der Körnung auf die Druckfestigkeit
17		5.6. Die Durchlässigkeit
17		5.7. Die Filterfähigkeit
17		5.8. Die Durchlässigkeit
17		5.8.1. Die Durchlässigkeit der Schlitzwand
17		5.8.2. Die Durchlässigkeit der Schlitzwand

Zusammenfassung

Sickerströmungen zu Baugruben oder unter Dämmen können durch Schlitzwände wirkungsvoll abgeschnitten werden. Die letzte Entwicklung des Schlitzwandverfahrens ist die sogenannte Suspensionswand. Bei ihr wird eine Bentonit-Zement-Suspension, die während des Schlitzaushubs benutzt wird, nach dem Aushub im Schlitz belassen und kann hier abbinden. Dadurch wird der Ersatz der Suspension durch ein besonderes Dichtungsmaterial - z.B. Beton - gespart. Die Eigenschaften der im Schlitz abgebundenen Bentonit-Zementsuspension werden beschrieben und der Einfluß des Strömungsgefälles auf dieses Dichtungsmaterial wird untersucht.

Summary

A seepage to an excavation or under a dam can be effectively cut by a diaphragm. The latest development of the diaphragm method was the self setting slurry wall, where a Bentonit-Zement-slurry used during excavation of the wall was left in place when the trench had reached its full depth and set at a predetermined time. This method saved the cost of placing a new material in the trench after excavation. The properties of the set slurry are described and the influence of the hydraulic gradient on the set slurry is investigated.

I n h a l t

	Seite
1. Einleitung	11
2. Das Schlitzwandverfahren	12
3. Das Herstellen einer Abdichtungsschlitzwand in zwei Arbeitsgängen	13
3.1 Das Verfahren	13
3.2 Das Dichtungsmaterial	13
4. Das Herstellen einer Abdichtungs-Schlitzwand in einem Arbeitsgang	13
4.1 Das Verfahren	13
4.2 Das Dichtungsmaterial	14
4.2.1 Die Aufbereitung zur Laborprüfung	14
4.2.2 Das Untersuchungsgerät	15
5. Die Eigenschaften des Dichtungsmaterials	15
5.1 Der Wassergehalt	15
5.2 Das Raumgewicht	15
5.3 Der Zustand des Dichtungsmaterials	15
5.4 Die Druckfestigkeit	15
5.5 Der Einfluß der Rührzeit auf die Druck- festigkeit	16
5.6 Die Erosionsbeständigkeit	17
5.7 Die Filterstabilität	17
5.8 Die Durchlässigkeit	17
5.8.1 Die Durchlässigkeit der reinen Suspension	17
5.8.2 Die Durchlässigkeit der mit Kies gemisch- ten Suspension	17
6. Der Einfluß des Strömungsgefälles auf die Durchlässigkeit	19
7. Die Beurteilung für die Praxis	21
8. Literatur.	21

Der Aufsatz verwendet noch die Einheiten kp/cm^2 und Mp/m^3 . Die Umrechnungen zu dem SI-System lauten:

$$1 \text{ kp/cm}^2 = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$1 \text{ Mp/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3$$

1. Einleitung

Das Trockenlegen einer Baugrubensohle allein durch das Absenken des Grundwasserspiegels wird umso aufwendiger, je tiefer die Baugrube reicht, oder je durchlässiger der Untergrund ist. Für eine etwa 20 m tiefe Absenkung des Grundwasserspiegels müssen z.B. an Baugruben in durchlässigen Kiesen Wassermengen in der Größenordnung von $15 \text{ m}^3/\text{s}$ gepumpt werden. In solchen Fällen bemüht man sich, eine solche hohe Pumpwassermenge durch eine vollständige oder teilweise Abdichtung der Baugrube zu reduzieren. Da bei Tiefen über 20 m die klassischen Spundwände als Abdichtungen ausscheiden, verbleiben nur noch Injektionen und Schlitzwände. Die Wahl der Verfahren richtet sich nach den Untergrundverhältnissen.

Die vollständige Abdichtung einer Baugrube durch eine sogenannte Grundwasserwanne wird man in besonders durchlässigen Kiesen näher untersuchen. Hier erweist es sich in der Regel als wirtschaftlich, die Seiten der Grundwasserwanne durch Schlitzwände und ihre Sohle durch Injektionen zu schließen. Eine solche Lösung wurde z.B. an den Rheinstaufstufen Rhinau und Markolsheim südlich von Straßburg gewählt.

Ein natürlicher Untergrund ist jedoch in der Regel im Blick auf seine Durchlässigkeit so inhomogen, daß eine ausreichende Abdichtung durch Injektion nur mit Hilfe chemischer Lösungen gelingt. Durch chemische Injektionen erhöhen sich dann aber die Kosten in einem solchen Maße, daß die wirtschaftliche Lösung die teilweise Abdichtung ist. In diesem Fall entsteht eine Baugrube mit einer seitlichen Abdichtung und einer offenen Sohle, in der das zu dieser Sohle strömende Wasser abgepumpt werden muß.

Eine solche teilweise Abdichtung ergab sich als die wirtschaftliche Lösung zum Trockenlegen von Baugrubensohlen z.B. an den Rheinstaufstufen Gamsheim und Iffezheim nördlich von Straßburg. Im Fall der Stufe Iffezheim wurde dabei für die Schleusen- und Kraftwerksbaugrube eine Pumpwassermenge von $17 \text{ m}^3/\text{s}$, die man ohne seitliche Abdichtung hätte pumpen müssen, durch den Einbau von Dichtungswänden auf eine Restpumpwassermenge von etwa $6 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert. Da die noch zu pumpende Wassermenge von der gewählten Tiefe der seitlichen Abdichtung abhängt, mußten in einer Sickerströmungsuntersuchung mehrere Abdichtungstiefen den noch verbleibenden Restpumpwassermengen gegenübergestellt werden, um Kostenvergleiche durchführen zu können.

Dieses Abwägen zwischen Abdichten und Absenken hat zu einer gewissen Konkurrenz geführt, die vor allem auf dem Gebiet der Abdichtungen zu einer beachtenswerten Entwicklung von Gerät und Material geführt hat. Eine andere Anwendung der Abdichtung eines durchlässigen Untergrundes, die ebenfalls zu einer Weiterentwicklung der Abdichtungsverfahren führte, sind die sogenannten Dichtungsschürzen unter Erddämmen, die Dammunterströmungen verhindern sollen. Abdichtungen durch Injektionen und Schlitzwände werden hier bis in besonders große Tiefen von 100 m und mehr durchgeführt.

Zu dieser Entwicklung in der Praxis werden im folgenden das Verfahren der Schlitzwandherstellung erklärt und ein Dichtungsmaterial beschrieben, das die Schlitzwand als Dichtungswand in den letzten Jahren besonders wirtschaftlich werden ließ.

2. Schlitzwandverfahren

In einem Untergrund aus Sanden oder Kiesen kann mit einem Grabengreifer, einem sogenannten Schlitzwandgreifer, ein Schlitz ausgehoben werden, ohne daß die Wände einstürzen, wenn nur der Schlitz während des Aushebens mit einer Suspension gefüllt bleibt. Man verwendet üblicherweise hierzu wegen ihres tixotropen Charakters eine Bentonitsuspension. Den Abmessungen des Greifers entsprechend kann in einem Arbeitsgang ein Schlitz von etwa 0,50 bis 1,50 m Breite und 2,50 bis 3,00 m Länge ausgehoben werden. Die Tiefe ist praktisch unbegrenzt. Es wurden zum Absperrn von Sickerströmungen unter Staudämmen bereits Schlitzwände bis 100 m Tiefe hergestellt. Durch Aneinanderreihen von einzelnen Schlitzten in der Form, wie es Bild 1 zeigt, wird eine Wand aus sogenannten Schlitzwandlamellen zusammengesetzt. Es werden zunächst Primärlamellen so hergestellt, daß stets eine Lamellenlänge ausgelassen wird. Die Lücken werden dann anschließend durch Sekundärlamellen geschlossen.

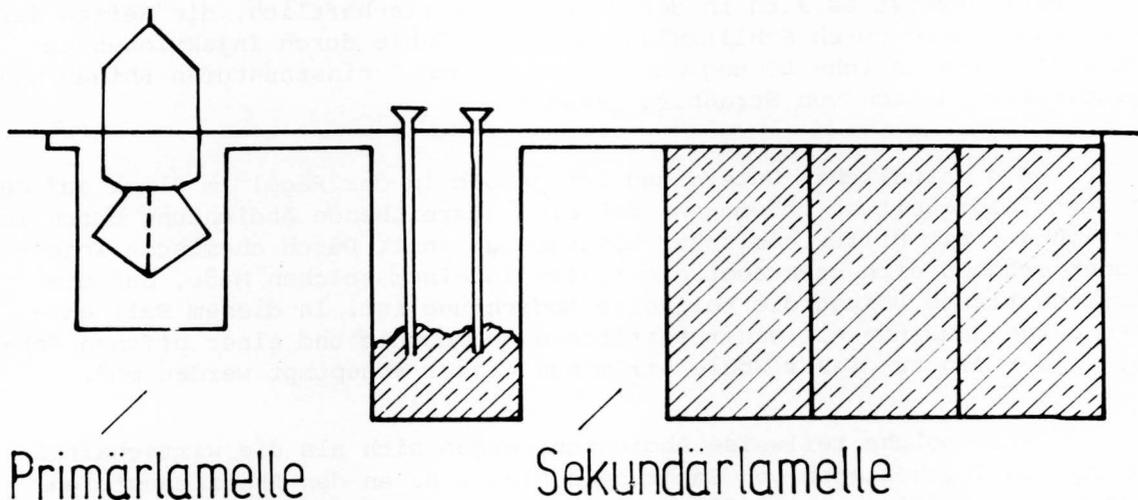


Abb. 1 Bau einer Schlitzwand in zwei Arbeitsgängen

Bevor jedoch die Sekundärlamellen ausgehoben und damit die Schlitzwand geschlossen wird, muß aber zunächst die Bentonitsuspension in den Primärschlitzten ersetzt werden. Dieser Ersatz richtet sich nach der Aufgabe, die die Schlitzwand erfüllen soll. Hat die Wand eine abstützende Aufgabe zu übernehmen, soll sie z.B. senkrecht abgegraben und verankert werden können, dann wird eine Bewehrung in die Schlitzwandlamelle eingehängt und der Schlitz von seiner Sohle aus mit Beton gefüllt. Die Bentonitsuspension wird dabei nach oben verdrängt und an einer benachbarten Lamelle beim Ausheben wieder verwandt, gegebenenfalls nach einer dazwischengeschalteten Entsandung.

Hat die Wand nur eine abdichtende Aufgabe zu übernehmen, z.B. als Dichtung unter einem Staudamm oder hinter der Böschung einer Baugrube, dann braucht das Material, das die Bentonitsuspension ersetzen soll, nur die Forderung einer bestimmten Abdichtung erfüllen. Gegebenenfalls wird zusätzlich verlangt, daß die Schlitzwand auch dicht bleibt, wenn sich der Untergrund, in den die Wand eingebaut wurde, unter der Last eines Dammes oder den Beanspruchungen eines Erdbebens verformt.

Diese Teilung der Schlitzwände in abstützende und nur abdichtende

Wände hat zu zwei unterschiedlichen Entwicklungen geführt, von denen hier die Entwicklung der Schlitzwände weiter verfolgt werden soll, die nur abdichtende Aufgaben zu erfüllen brauchen.

3. Das Herstellen einer Abdichtungs-Schlitzwand in zwei Arbeitsgängen

3.1 Das Verfahren

Abdichtungs-Schlitzwände wurden bei der Einführung dieses Verfahrens zunächst in zwei Arbeitsgängen gebaut, ähnlich wie die Wände, die auch eine abstützende Aufgabe zu übernehmen hatten. Die mit einer Bentonitsuspension gefüllte Schlitzlamelle wurde, wie im Abschnitt 2 bereits beschrieben, mit einem Dichtungsmaterial gefüllt.

3.2 Dichtungsmaterial

Als Dichtungsmaterial wurde zunächst Beton gewählt. Auf diese Art wurden z.B. die Abdichtungsschlitzwände an den Baugruben der Rheinstaufstufen Rhinau und Markolsheim südlich von Straßburg vor etwa 15 Jahren gebaut. Sie haben die geforderte Abdichtung voll erfüllt. Diese Schlitzwände, die nur eine Abdichtungsaufgabe erfüllen sollen, blieben jedoch relativ aufwendig und entsprechend teuer infolge des zweiten Arbeitsganges, nämlich des Ersetzens der Bentonitsuspension durch ein Dichtungsmaterial, z.B. durch einen Beton.

4. Das Herstellen einer Abdichtungs-Schlitzwand in einem Arbeitsgang

Für den Bau der Rheinstaufstufen Gamsheim und Iffezheim nördlich von Straßburg wurden neben den klassischen zwei Arbeitsgängen erstmals Vorschläge gemacht, die Abdichtungsschlitzwand in einem Arbeitsgang herzustellen. Der Kostenunterschied war so beachtlich, daß neben der Grundwasserabsenkung zum Trockenlegen der Baugruben der Abdichtung durch Schlitzwände ein bedeutend größerer Anteil als bisher zugewiesen werden konnte. Nach einer Untersuchung des angebotenen Dichtungsmaterials wurde dieses Verfahren, also die Herstellung der Schlitzwand in einem Arbeitsgang, für die Ausführung gewählt.

4.1 Das Verfahren

Das Bauverfahren besteht nur noch in dem Ausheben von Primär- und Sekundärlamellen (Bild 2). Das Baugerät ist der Schlitzwandgreifer (Bild 3) mit den wählbaren Abmessungen von 0,50 m bis 1,50 m Breite und 2,50 m bis 3,00 m Länge. Anstelle der bisher zum Stützen der Schlitzwände verwandten Bentonitsuspension wird eine Bentonit-Zementsuspension verwandt. Diese Suspension wird nicht mehr ersetzt. Sobald eine Schlitzlamelle ausgehoben worden ist, ist sie auch ausbetoniert. Jetzt bleibt die Suspension in Ruhe und die Eigenschaften des Bentonits und des Zementes können zu wirken beginnen. Das Material der Primärlamellen befindet sich nach 3-7 Tagen in einem steifen bis halbfesten Zustand. Jetzt werden die Sekundärlamellen ausgehoben und damit die Wand geschlossen. Nach 28 Tagen Abbindezeit verändern sich die Eigenschaften des Dichtungsmaterials, die im folgenden beschrieben werden, praktisch nicht mehr.

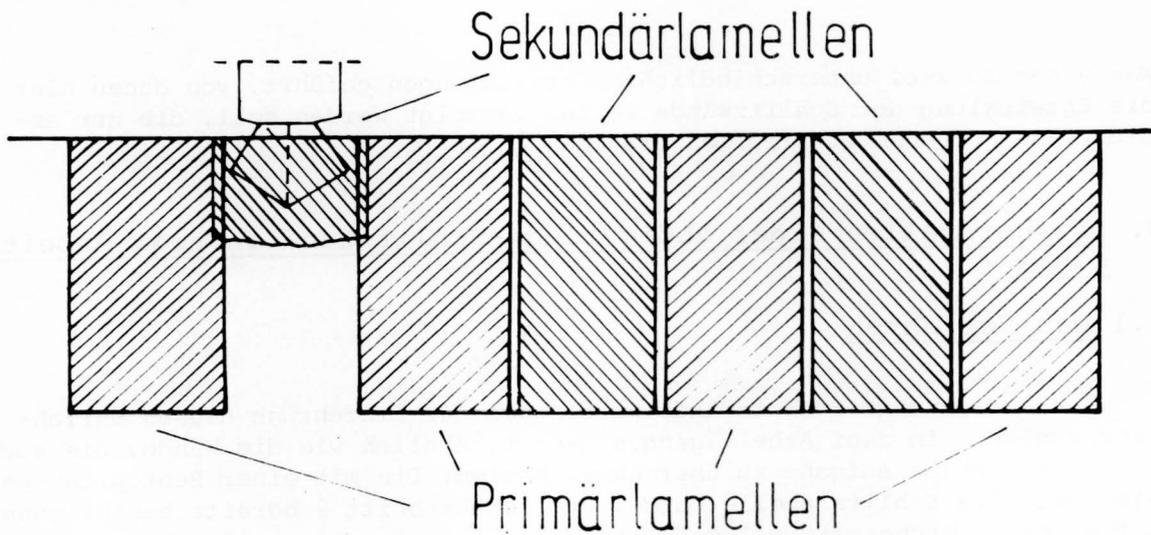


Abb.2 Bau einer Schlitzwand in einem Arbeitsgang

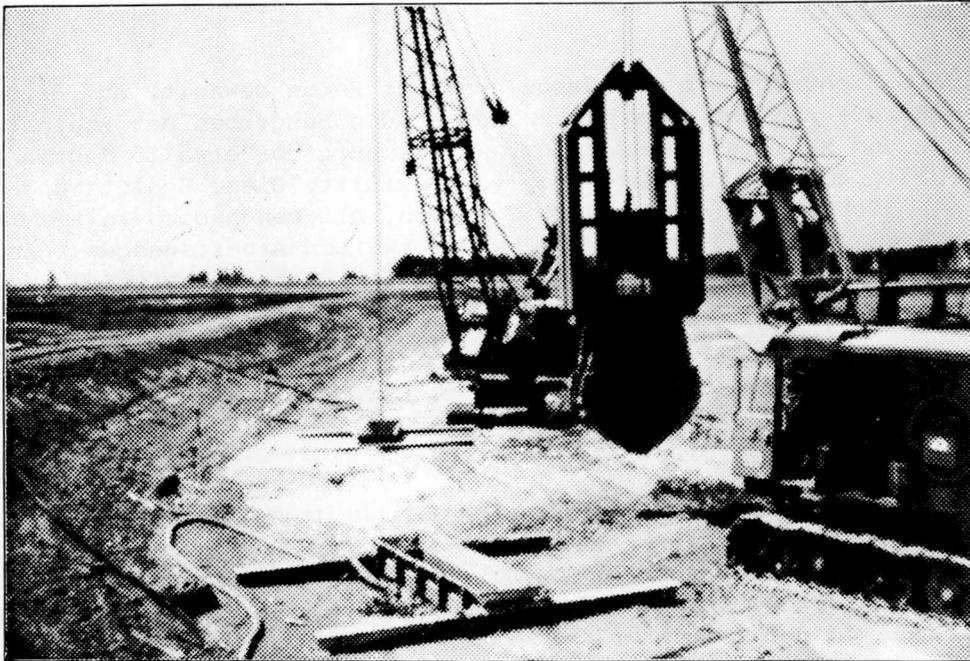


Abb.3 Schlitzwandgreifer und Führungskasten

4.2 Das Dichtungsmaterial

Die Angebote für dieses Dichtungsmaterial nannten Mischungen aus Bentonit, Zement und Wasser im Verhältnis 50:200:1000 und 30:100:1000. Beide Mischungen wurden untersucht und auf den Baustellen verwandt. Sie unterschieden sich in ihrem Endzustand nach dem Abbinden des Zementes praktisch nicht mehr.

4.2.1 Die Aufbereitung zur Laborprüfung

Zur Aufbereitung der zu untersuchenden Suspension wurde zunächst der Bentonitanteil mit dem Wasseranteil 10 min hochtourig gemischt. Nach diesen 10 min wurde der Zementanteil zugegeben und beide Anteile weitere 5 min gemischt. Unmittelbar nach dem Mischen wurde die Suspension in die jeweiligen

Untersuchungsgeräte abgefüllt. Der Einfluß der Mischzeit auf die Eigenschaften des Dichtungsmaterials wurde zusätzlich untersucht. (Abschnitt 5.4)

4.2.2 Das Untersuchungsgerät

Für die Untersuchung der Durchlässigkeit, der Filterstabilität und der Erosionsbeständigkeit wurde die Suspension in Zylinder von 120 mm Durchmesser und für die Untersuchung der Druckfestigkeit in Zylinder von 50 mm Durchmesser abgefüllt. Am Boden dieser Zylinder konnte das Wasser aus der Suspension über einen mit Filterpapier abgedeckten Sandfilter abfließen. Die Oberflächen der Proben waren mit Filterpapier und Wasser abgedeckt. In dem Sohlfilter wurde beim Einfüllen der Probe zunächst ein Wasserdruck bis zur Höhe des Wasserspiegels über der Probe eingestellt.

5. Die Eigenschaften des Dichtungsmaterials

5.1 Der Wassergehalt

Bei einem Mischungsverhältnis von B : Z : W = 50 : 200 : 1000 ist der Anfangswassergehalt 400 %. Unter der oben beschriebenen Lagerung der Proben im Untersuchungsgerät veränderte sich der Wassergehalt in den ersten 3 Tagen auf 320 %, nach 7 Tagen auf 317 % und nach 21 Tagen auf 310 %. Wassergehaltsbestimmungen an Proben aus fertigen 30, 50, 70 und 90 Tagen alten Schlitzwänden ergaben mit geringen Schwankungen gleichmäßige Wassergehalte von etwa 300 % .

5.2 Das Raumbgewicht

Den Wassergehaltsänderungen entsprechend wurde nach 3 Tagen ein Raumbgewicht von $1,191 \text{ Mp/m}^3$ und nach 7 Tagen von $1,201 \text{ Mp/m}^3$ ermittelt. Nach 21 Tagen war praktisch keine weitere Veränderung mehr festzustellen.

5.3 Der Zustand des Dichtungsmaterials.

Der Zustand der abgebundenen Bentonit-Zement-Suspension ist auf Grund eines Abführens halbfest bis fest. Seine Bruchflächen sind jedoch denen eines Betons ähnlich. Eine Probe für eine Untersuchung mit einem Stutzen zu nehmen, gelingt nicht. Es zeigt sich hier eine gewisse Sprödigkeit, die bei einem Wassergehalt von 300 % überrascht. Dieser halbfeste und spröde Zustand kann durch kräftiges Quetschen des Materials in einen weichen Zustand überführt werden, in dem es dann verbleibt. Scherflächen sind schmierig. Das Material ist auch hier in einem dünnen Bereich in einem weichen Zustand.

5.4 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit, die im Erdbaulabor an Proben von 50 mm Durchmesser und 100 mm Höhe nach 3, 7 und 21 Tagen geprüft wurde, steigt in dieser Zeit, wie die Tabelle 1 zeigt, um das 4-fache. Der Wassergehalt, der sich vom 1. bis zum 3. Tage stark verringerte, veränderte sich nach 3. Tage nur noch wenig (Abschn. 5.1).

Tabelle 1

Zeit	kp/cm ²	ω %
3. Tag	0,30	320
7. Tag	0,47	317
21. Tag	1,18	310

Die Prüfung des gleichen Materials im Betonlabor nach DIN 1164 an Prismen von 4/4/16 cm ergab höhere Festigkeiten: nach 7 Tagen 0,9 - 1,2 kp/cm² und nach 28 Tagen 4,8 kp/cm².

5.5 Der Einfluß der Rührzeit auf die Druckfestigkeit

Da die Suspension oft über mehrere Stunden in der Aufbereitungsanlage, in der Pumpleitung und im Schlitz während des Aushebens bewegt wird, wurde der Einfluß der Rührzeit auf die Prismen-Druckfestigkeit untersucht. Die Suspension wurde in einem Zwangsmischer mit 1 Umdrehung je Minute gerührt. Die Veränderung der Druckfestigkeit mit der Rührzeit gibt die Tabelle 2.

Tabelle 2

Mischzeit Std.	Druckfestigkeit (kp/cm ²)	
	nach 7 Tagen	nach 28 Tagen
0	1,2	4,2
4	1,0	4,8
5	0,9	3,6
6	1,1	3,4
7	1,0	3,0
8	1,2	2,4
9	1,1	2,7
24,5	--	1,0

Die Abnahme der Druckfestigkeit an Proben, deren Suspension länger als 4 Stunden gerührt wurde, kann auf die mechanische Störung der Hydratation zurückgeführt werden. Die Zementgelbildung, das Zusammenwachsen der einzelnen Zementkörper zum Endzustand Zementstein, wird gestört. Die aufeinanderzuwachsenden Gele werden mechanisch getrennt. Im Verlauf der Rührzeit bleiben immer weniger unhydratisierte Zementkörper übrig, die diese Gelfetzen zusammenleimen können.

5.6 Die Erosionsbeständigkeit

Die Erosionsbeständigkeit des Materials wurde dadurch geprüft, daß mit dem Einfüllen der Suspension in die Versuchszylinder Flachstäbe von 4 x 8 mm Querschnitt mit eingebaut und nach 3, 7 und 21 Tagen gezogen wurden. Bei anschließenden Durchströmungsversuchen konnte Wasser auch durch diese künstlichen Kanäle fließen. Nach einer Steigerung des Gefälles von $i = 10$ bis $i = 100$ während etwa 2 Wochen wurden die Proben 4 Wochen bei dem maximalen Gefälle von $i = 100$ durchströmt. Der Querschnitt der Kanäle hatte sich während des Durchströmens nicht verändert.

5.7 Die Filterstabilität

Das hier untersuchte Dichtungsmaterial sollte in der Natur als Schlitzwand in einen Mittel- bis Grobkies eingebaut werden. Es war daher auch die Standsicherheit des Dichtungsmaterials an der Trennfläche zum Kies zu untersuchen. Für diese Versuche war am Boden der oben bereits näher beschriebenen Versuchszylinder eine Kreisfläche von 5 cm Durchmesser abschraubbar. Nach dem üblichen Aufbereiten und Einfüllen der Suspension wurden die Bodenschrauben nach 3, 7 und 21 Tagen abgenommen und eine Durchströmung der Proben begonnen. Nach einer Steigerung des Gefälles bis $i=100$ veränderte sich an allen Proben 2 Wochen lang nichts. Nach diesen 2 Wochen brachen Probenstücke schalenförmig an der nicht abgestützten Grundfläche aus, aber nur an den Proben, an denen der Versuch nach 3 und 7 Tagen begonnen worden war. An den Proben, die 21 Tage bis zum Versuchsbeginn abbinden konnten, war nach 4 Wochen noch keine Veränderung zu beobachten.

5.8 Die Durchlässigkeit

5.8.1 Die Durchlässigkeit der reinen Suspension

Die Durchlässigkeit des Dichtungsmaterials sinkt in einer Abbindezeit von etwa 25 - 35 Tagen auf einen Minimalwert. Die Größe dieses Minimalwertes hängt, wie Bild 4 zeigt, von der Belastung ab, die auf die Suspension wirkt und entsprechende Wassermengen abfließen läßt. Bei den Durchlässigkeitsuntersuchungen, die das Bild 4 zeigt, wurden Belastungen von 0, 0,01, 0,03 und 0,06 kp/cm^2 unmittelbar auf die frisch in die Versuchszylinder eingefüllte Suspension aufgebracht.

Die Durchlässigkeiten des abgebundenen Materials liegen für diese Belastungen von 0 bis 0,06 kp/cm^2 zwischen $1 \cdot 10^{-8}$ und $3 \cdot 10^{-11}$ m/s und die Wassergehalte zwischen 295 % und 141 %.

5.8.2 Die Durchlässigkeit der mit Kies gemischten Suspension

Die Untersuchung der Frage, ob Sand oder Kies in eine fertige, mit einer Bentonit-Zement-Suspension gefüllten Schlitzlamelle zugegeben werden kann, hatte folgendes Ergebnis: Eine Sandmenge versinkt, ohne daß die Suspension den Porenraum des Sandes füllen kann, wie ein geschlossener Körper. Beim Zugeben von Kies kann die Suspension den Porenraum füllen, solange sie noch ausreichend dünnflüssig ist.

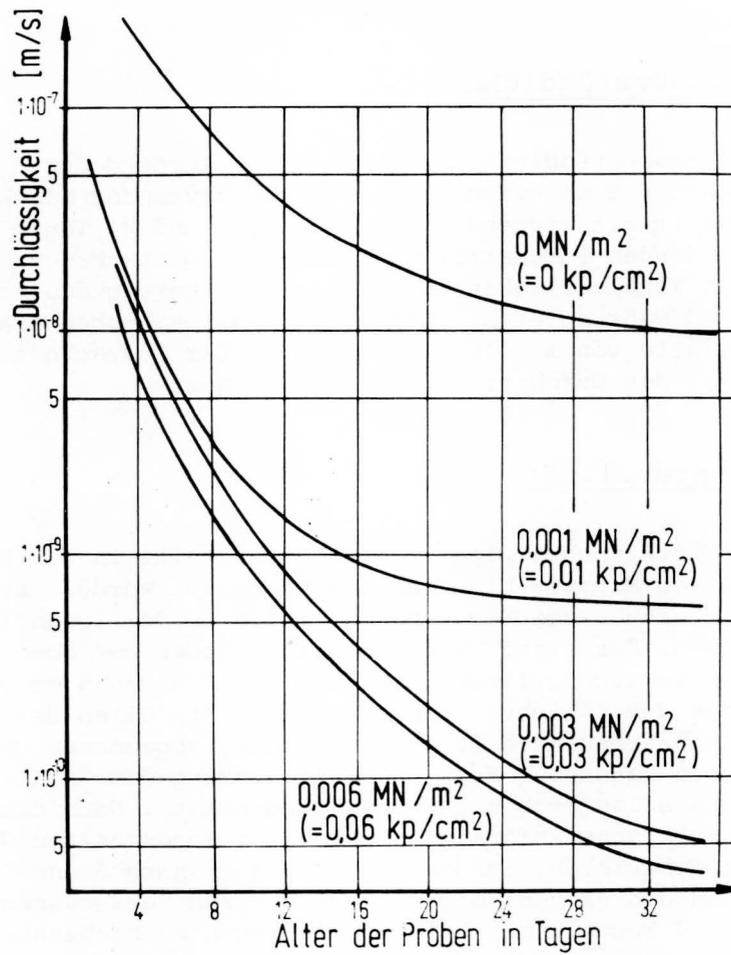


Abb. 4 Der Einfluß der Belastung auf die Durchlässigkeit

Solange die Suspension beim Absinken der Kieskörner die Poren füllt, ist aber auch eine Korn - zu - Kornberührung der Kiese möglich. Wenn das der Fall ist, und in der Praxis wäre das kaum zu vermeiden, verändert sich die Durchlässigkeit während des Abbindens des Zementes nach Bild 5. Bis etwa zum 8. Tag sinkt die Durchlässigkeit zunächst, steigt dann aber wieder bis zum Ende des Abbindevorganges auf etwa $5 \cdot 10^{-7}$ m/s an. Die niedrige Enddurchlässigkeit der reinen abgebundenen Suspension von 10^{-8} bis 10^{-11} m/s wird nicht erreicht. Der Grund für die Erhöhung der Durchlässigkeit sind offensichtlich Ablösungen des Dichtungsmaterials von den Kieskörnern, und zwar jeweils an ihrer Unterseite. Dieser Vorgang ist aus dem Injizieren von Kiesen bekannt und wird von Cambefort [1] eingehend beschrieben.

Die Durchlässigkeit einer Dichtungswand von 10^{-7} oder auch noch von 10^{-6} m/s wäre aber gegenüber der Durchlässigkeit eines Kienes von 10^{-2} bis 10^{-3} m/s völlig ausreichend, wenn nicht gefragt werden müßte, ob der Anstieg der Durchlässigkeit während des Abbindens des Dichtungsmaterials bei einer späteren Beanspruchung der Wand, z.B. durch ein hohes Strömungsgefälle, zu einem weiteren Anstieg der Durchlässigkeit führen könnte. Der Einfluß des Strömungsgefälles wird im folgenden Abschnitt weiter behandelt werden.

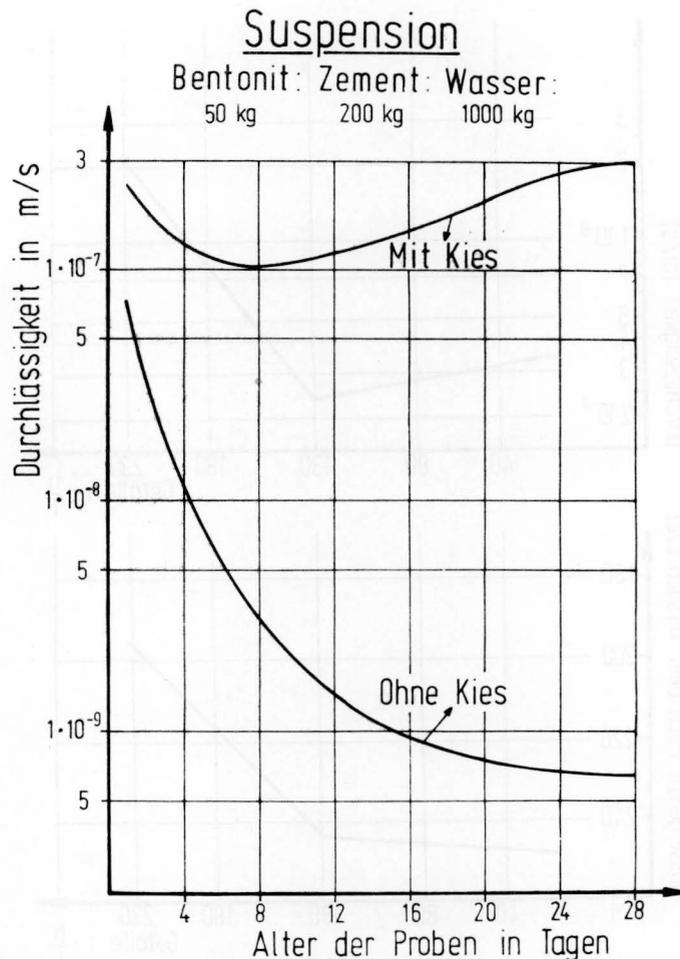


Abb. 5 Die Durchlässigkeit der mit Kies gemischten Suspension während des Abbindens

6. Der Einfluß des Strömungsgefälles

Das hier behandelte Dichtungsmaterial hatte als Suspension einen Anfangswassergehalt von 400 % und nach dem Abbinden von etwa 300 % oder geringer, falls die Suspension belastet worden war. Dieser relativ hohe Wassergehalt führte zu der Frage, wie haftet das Wasser in dem abgebundenen Dichtungsmaterial, ist es möglich, eine Haftspannung zu überwinden und Wasser abzureißen und aus dem Dichtungsmaterial herauszutransportieren. Durchlässigkeitsversuche mit erhöhten Strömungsgefällen zeigen, daß das möglich ist. Nach Bild 6 verändert sich der Ausgangswassergehalt einer Probe von 240 % und ihre Durchlässigkeit bis zu einem Gefälle von $i = 130$ praktisch nicht. Nach einer Steigerung des Gefälles auf $i = 230$ und einer Durchströmungszeit von 2 Tagen sinkt der Wassergehalt auf etwa 210 % und die Durchlässigkeit steigt um eine Zehnerpotenz von 10^{-9} m/s auf 10^{-8} m/s. Der Einfluß längerer Durchströmungszeiten und noch höherer Gefälle wird zur Zeit untersucht. Weiter wird der Einfluß des Anfangswassergehaltes festgestellt werden, der von der Belastung der Suspension während des Konsolidierens abhängt und der sich nach Abschnitt 5.4 vom 3. Tage an nach dem Herstellen der Suspension nur noch wenig verändert. Diese Anfangswassergehalte beim Beginn einer Durchströmung können nach dem Abschnitt 5.81 für Belastungen von 0 bis $0,06$ kp/cm² zwischen etwa 300 % und 140 % schwanken. Belastungen, die diesen Anfangswassergehalt verändern können, sind in der Natur bereits gegeben, wenn der Grundwasserspiegel tiefer liegt als der Suspensionsspiegel in dem Schlitzwandgraben.

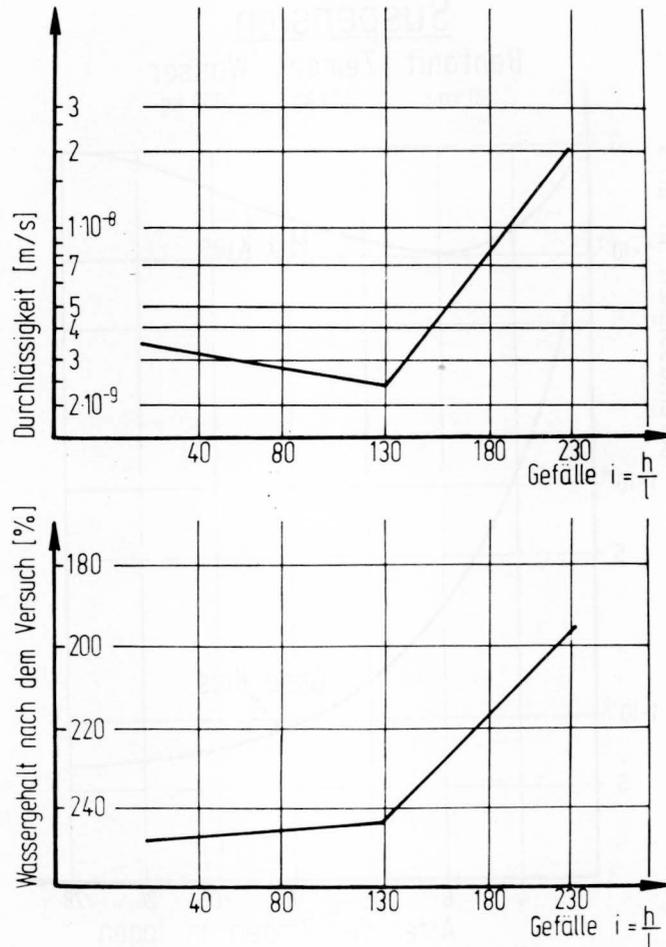


Abb. 6 Der Einfluß des Strömungsgefälles auf den Wassergehalt und die Durchlässigkeit

Auf die bisher genannten Abhängigkeiten wurde von mir im September 1974 auf einer Tagung über Schlitzwände in London hingewiesen. Dort war über dieses neue Dichtungswandmaterial im Zusammenhang mit dem Bau des "Upper Peirce Dam" in Singapore unter Bezug auf die Rheinstaufstufen durch Mr. A.L. Little berichtet worden. Mr. Little schrieb als Antwort auf meine Fragen in den Proceedings dieser Konferenz [2], daß unter einem Gefälle von 1000 und nach einer Durchströmungszeit von 500 Stunden ein Dichtungsmaterial von 170% Wassergehalt keine Veränderung der Durchlässigkeit gezeigt hätte. Bei einem Dichtungsmaterial von 240% Wassergehalt wäre dagegen nach 500 Stunden Versuchszeit bei dem gleichen Gefälle von 1000 die Durchlässigkeit bis zu einer Größe angestiegen, die man nicht mehr hätte zulassen können.

Bei dem hier beschriebenen Dichtungsmaterial kann offensichtlich die Durchlässigkeit von einem bestimmten Strömungsgefälle an vergrößert werden. Die Größe des erforderlichen Gefälles ist dabei von dem Anfangswassergehalt bzw. von dem Konsolidierungsgrad des Materials abhängig.

Der Wassergehalt kann danach kein Kriterium für die Dichtungswirkung des Materials sein, weil er durch eine Konsolidierung bedingt sein kann mit einer gleichzeitigen Verkleinerung der Durchlässigkeit, aber auch durch ein Strömungsgefälle mit einer gleichzeitigen Vergrößerung der Durchlässigkeit.

7. Die Beurteilung für die Praxis

Für die Praxis interessiert die Frage: Wann verliert das hier beschriebene Dichtungsmaterial seine Dichtungswirkung? Seine Dichtungswirkung kann bereits gemindert werden, wenn ein Strömungsgefälle von etwa 200 überschritten wird. Ein solches Strömungsgefälle wird bei Schlitzwänden von 50cm Dicke erst bei Stauhöhen von 100 m auftreten, es ist aber bei Schmalwänden von nur 5 cm Dicke bei Stauhöhen von 10 m in der Praxis bereits häufig gegeben. Die hier beschriebenen Untersuchungen werden daher weitergeführt werden müssen, um für dieses wirtschaftliche Dichtungsmaterial die Dichtungswirkung unter den Beanspruchungen der Dichtungswand exakter und vollständiger beschreiben zu können.

8. Literatur

- [1] CAMBEFORT : Bodeninjektionstechnik, Bauverlag GmbH., Wiesbaden und Berlin, 1969
- [2] LITTLE, A.L. : Diaphragm Walls and Anchorages. Proceedings of the Conference, Institution of Civil Engineers, London, 1975.

