

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**List, H.-J.**

## **Untersuchungen von instationär belasteten Kunststoff- Filtern für den Wasserbau**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103019>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

List, H.-J. (1973): Untersuchungen von instationär belasteten Kunststoff-Filtern für den Wasserbau. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 35. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 122-147.

### **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.



Dipl.-Geol. H.-J. List

UNTERSUCHUNGEN VON INSTATIONÄR BELASTETEN KUNSTSTOFF-FILTERN  
FÜR DEN WASSERBAU

Investigations of synthetic filters applied in  
hydraulic structures under the influence of non-stationary flow

ZUSAMMENFASSUNG

Erosionskräfte, die an strömungsbelasteten offenen Deckwerken wirksam werden, können die Standsicherheit dieser Böschungsdeckwerke erheblich vermindern. Zur Verhinderung von Erosionen sind daher als Teil durchlässiger Deckwerke Filterschichten zwischen Boden und Decklage einzubauen.

Kunststoff-Filter stellen bei richtiger Auswahl einen wirtschaftlich und technisch geeigneten Wasserbaustoff dar, durch den die bisher üblichen Mischkorn-Filterlagen ersetzt werden können. Durch Verwendung geeigneter Kunststoff-Filter läßt sich sowohl ein günstiger Baufortschritt als auch eine erhebliche Verminderung der Unterhaltungskosten der Uferböschungen erreichen.

Um bei der Vielfalt der angebotenen Textil-Filter für den Wasserbau brauchbare Richtwerte ihrer Eigenschaften geben zu können, wurden neue Prüfverfahren entwickelt und erprobt, die in vorliegendem Beitrag erläutert werden. Ein Beurteilungsschlüssel, der die Auswahl geeigneter Filter für bestimmte Einbauzwecke und -verfahren erleichtern soll, wird zur Diskussion gestellt.

SUMMARY

The stability of waterway wall structures can become considerably diminished by the erosive forces acting on such structures under the influence of turbulent flow. In order to avoid such erosion effects, filter layers have to be built in as a component of permeable wall structures between sub- and surface layers.

If selected properly, synthetic filter material can be applied advantageously in hydraulic structures from both an economical and a technical viewpoint, and can thus replace the conventional type mixed-grain layers. Construction time as well as maintenance expenses for waterway wall structures can be noticeably reduced by the use of suitable filter material.

For the purpose of determining standards characterizing the properties of textile filters, from the multitude of material offered for hydraulic structures, new test methods described in this paper were developed and experimentally verified. This contribution also presents for discussion, a judgement scale supposed to alleviate the selection of proper filter material for specific individual construction purposes.



## Inhalt

	Seite
1. Definition und Aufgabenstellung	124
2. Belastungsannahmen	125
3. Prüfungen der mechanischen Festigkeiten	126
3.1 Die Bestimmung der Naß-Reißkraft und der Naß-Reißdehnung	126
3.2 Die Prüfung der Abriebfestigkeit	128
3.3 Prüfung der Durchschlagfestigkeit	130
3.4 Prüfung des Reibungsbeiwertes	132
3.5 Das Verhalten von Kunststoff-Filtern bei thermischer Beanspruchung	132
4. Die Prüfung der Filtereigenschaften	133
4.1 Die Maschenweite	133
4.2 Die offene Siebfläche (Öffnungsverhältnis)	133
4.3 Das effektive Porenvolumen	133
4.4 Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit	135
4.5 Die Prüfung der mechanischen Filterstabilität bei instationärer, wechselseitiger Durchströmung	139
4.6 Beurteilungskriterien für die Filterwirksamkeit	141
4.7 Zusammenfassende Bemessungsgrundlage	143
5. Schrifttum	146

## 1. Definition und Aufgabenstellung

Unter der Einwirkung instationärer Strömungen mit hohen Geschwindigkeiten und starker Turbulenz können in erosionsgefährdeten Filter- und Bodenschichten beträchtliche Kornumlagerungen vor sich gehen, so daß sich ein stabilisierendes Filtergerüst - von dem die klassischen Filtergesetze ausgehen - überhaupt nicht oder nur nach starken Ausspülungen entwickeln kann. Daher müssen Bemessungsregeln für die Standsicherheit turbulent belasteter Wasserbauwerke neben den bodenphysikalischen Kennwerten  $d$ ,  $U$ ,  $\gamma_s$  auch die Parameter der strömungsmechanischen Belastung enthalten.

Freifließendes, schnell bewegtes Wasser überträgt einen Teil seiner kinetischen Energie über die Schubspannung

$$T_o = \frac{\gamma}{k_m^2 \cdot R^{1/2}} \cdot v^2$$

auf Sohle und Böschung. Hierbei entstehen im Grenzschichtbereich (der das gesamte offene Deckwerk und die Oberfläche des Untergrundes umfassen kann) nicht nur strömungsparallele Schubkräfte, sondern infolge von Druckpulsationen werden zusätzlich Sog- oder Liftkräfte als vertikale Kraftkomponenten wirksam. Diese Liftkräfte, die nach bisherigen Erkenntnissen etwa 85 % der Größe der kritischen Schubspannung  $T_{kr}$  ausmachen, müssen dort, wo turbulente und wechselseitige Durchströmungsvorgänge auftreten, als wichtige Belastungskomponenten für die Bemessung der Standsicherheit berücksichtigt werden [1], [2]. Weiterhin erfordert die Berechnung einer ausreichenden Standfestigkeit die Berücksichtigung folgender Parameter:

1) Gerinnegeometrie

( $F$ ,  $I$ ,  $t$ , bzw.  $R$ ,  $n$ ,  $\alpha$ )

2) dynamische Größen

( $k$ ,  $Re$ ,  $\gamma$ , Kolloidgehalt  $T_{kr}$ )

Jedoch beinhalten neuere, verfeinerte Berechnungsmethoden [2] bis [4], die auf den Erkenntnissen der Wirkung der Turbulenz und der Wirbelballentheorie aufbauen, z.T. sehr starke Vereinfachungen.

Die Berechnung der zulässigen Belastung hochbeanspruchter Deckwerke wie z.B. Küstenschutz-Bauwerke, Sohlen und Böschungen unterhalb von Wehren und Sperrwerken ([5]), Kolkbereiche von Brückenpfeilern ([6]), Prallhänge in Flußschleifen ([7]), oder auch durchlässige Deckwerke von Schifffahrtskanälen ([8] bis [11]) ist aber nicht nur der Komplexität der Vorgänge wegen überaus schwierig, sondern oft genug auch versuchs- und meßtechnisch problematisch.

Solange keine Bemessungsregeln bekannt sind, die alle Einflußfaktoren berücksichtigen (und dennoch für die Baupraxis verwendbar bleiben), muß die zulässige Belastung solcher Bauwerke durch empirische Daten ermittelt werden.

Die in der BAW durchgeführten Modelluntersuchungen (mit Naturabmessungen) [12] bis [15] sowie zahlreiche Schadensfälle in der Natur haben gezeigt, daß die Standsicherheit dynamisch stark beanspruchter, durchlässi-

ger Deckwerke ganz wesentlich von der Stabilität ihrer Filterschichten abhängig ist. Die Bemessungsregeln für natürliche Filter, die unter diesen harten Beanspruchungen auf Dauer wirklich erosions sicher sind, stellen sehr strenge Forderungen an die Dicke der einzelnen Filterschichten und an die Korngrößenabstufung von Schicht zu Schicht.[1]. Anstelle dieser äußerst aufwendigen Sand- und Kiesfilter läßt sich durch Verwendung richtig dimensionierter Kunststoff-Filter ein wirtschaftlicher Erosionsschutz erreichen.

Als Kunststoff-Filter werden hier Gewebe und Filze (Vliese) aus synthetischen Fasern verstanden, deren bauphysikalische Eigenschaften so beschaffen sind, daß durch ihre Verwendung erosionsgefährdete Böden vor dem Einfluß turbulenter Strömungsvorgänge langfristig geschützt werden können. Gegenüber den natürlichen Filterstoffen bieten Kunststoff-Filter vor allem folgende Vorteile:

- a) Eine homogene, zusammenhängende Filterfläche oder Filterschicht, deren Eigenschaften im Labor nach bestimmten Kriterien prüfbar sind und die den spezifischen Erfordernissen der Baustelle entsprechend variiert werden können.
- b) Ein sachgemäßer Einbau ist selbst bei ungünstigen Verhältnissen, also auch unter Wasser und bei laufendem Schiffsverkehr ([16]), wenn die technischen Voraussetzungen geschaffen werden und eine sorgfältige Überwachung durchgeführt wird.
- c) Bei geeigneter Einbauweise läßt sich eine wesentliche Beschleunigung des Baufortschrittes sowie eine zum Teil erhebliche Kostensenkung erreichen.
- d) Bei richtiger Auswahl des Filtermaterials und sachgemäßem Einbau kann nach den bisherigen Erfahrungen eine hohe Lebensdauer der Kunststoff-Filter angenommen werden, wodurch die Kosten für die Deckwerksunterhaltung wesentlich geringer werden dürften.

Um bei der Vielfalt der angebotenen Stoffe brauchbare Richtwerte geben zu können, wurde versucht, Prüfverfahren zu entwickeln und zu erproben, welche die Auswahl geeigneter Filter für bestimmte Einbauzwecke erleichtern sollen.

## 2. Belastungsannahmen

Für die Beurteilung der Verwendbarkeit von Kunststoff-Filtern im Verkehrswasserbau sind Belastungsgrößen zugrunde gelegt, wie sie am Mittel land-Kanal oder am Main-Donau-Kanal entstehen und durch Naturmessungen ([8] bis [11]) und -beobachtungen hinreichend bekannt sind. Für Kunststoff-Filter, die im Kulturwasserbau (Lahnungsbau etc.) Verwendung finden, also dort, wo die dynamischen Belastungen z.T. wesentlich geringer sind, können diese Werte entsprechend vermindert werden. Andererseits müssen sie für Baumaßnahmen, die härtesten Belastungen standhalten sollen (Küstenschutz etc.), ganz wesentlich erhöht werden.

Das notwendige Maß der Minderung bzw. Erhöhung der Filterfestigkeit wird sich aus den im Folgenden angegebenen Werten und unter Berücksichtigung der örtlichen Belastungsverhältnisse ermitteln lassen. Durch ergänzende Versuche sollen auch für diese erweiterten Anwendungsbereiche Grenzwerte festgelegt werden.

### 3. Prüfungen der mechanischen Festigkeiten

Die mechanische Beanspruchung von Kunststoff-Filtern ist meistens während des Einbaues und bei dem Aufbringen der Decklage am größten. Dabei können Art und Größe der Beanspruchung von Baustelle zu Baustelle stark variieren. Für die Auswahl eines technisch und wirtschaftlich optimalen Kunststoff-Filter für ein bestimmtes Bauvorhaben ist daher auch die spezifische Baustellenbelastung eine wichtige Kennziffer.

Für die Prüfung der mechanischen Festigkeit von Geweben stehen der Textilindustrie DIN-Normen zur Verfügung. Die entsprechenden Prüfwerte, die von den Herstellern von Kunststoff-Filtern oft genannt werden, bilden aber keine eindeutige Grundlage für die Beurteilung der für wasserbauliche Zwecke erforderlichen Festigkeiten, denn bestimmte Eigenschaften von Geweben oder Vliesen können sich z.B. bei Lagerung unter Wasser wesentlich verändern.

Um die verschiedensten Produkte auf ihre Eignung im Wasserbau unter gleichen, normbaren Gesichtspunkten beurteilen zu können, mußten daher teils völlig neue Prüfmethode entwickelt oder DIN-Prüfnormen auf wasserbauliche Gesichtspunkte hin verändert werden. Aus einer größeren Anzahl getesteter Untersuchungsmöglichkeiten wurden schließlich wenige Prüfmethode ausgewählt, die leicht und schnell durchführbar und in ihrer Aussage eindeutig sind und gemeinsam ein klares Bild der Festigkeitseigenschaften ergeben.

#### 3.1 Die Bestimmung der Naß-Reißkraft und der Naß-Reißdehnung

In Anlehnung an DIN 53 815 ist die Naß-Reißkraft  $P_{\max, n}$  definiert als die beim Zugversuch gemessene Höchstkraft an Proben, die 48 Stunden unter Wasser gelagert sind. Die Naß-Reißdehnung  $\delta P_{\max, n}$  ist der Quotient aus Längenänderung  $\Delta L_{\max, n}$  bei der Reißkraft und  $L_{0, n}$  der wassergelagerten Probe:

$$\delta P_{\max, n} = \frac{\Delta L_{\max, n}}{L_{0, n}}; \Delta L_{\max, n} = L_{\max, n} - L_{0, n}$$

Bei Geweben, also solchen synthetischen Textilprodukten, die auf einem Webstuhl gefertigt sind und aus Kett- und Schußfäden bestehen, wird die Bestimmung der Reißfestigkeit nach dem Streifen-Zugversuch DIN 53 857 durchgeführt. Hierzu werden aus dem Probematerial an auseinanderliegenden Stellen jeweils 5 Streifen in den Maßen 50x400 mm in Kett- und Schußrichtung ausgeschnitten, 48 Stunden unter Wasser gelagert und mit einer freien Einspannlänge von 200 mm in der Klemmvorrichtung eines Zugprüfgerätes (DIN 53 857-5.) befestigt (Abb.1).

Die Probe wird bis zum Bruch gedehnt und die hierzu notwendige Kraft  $P_{\max, n}$  sowie die dabei auftretende Dehnung  $L_{\max, n}$  mittels eines Kraft-Weg-Schreibers aufgezeichnet.

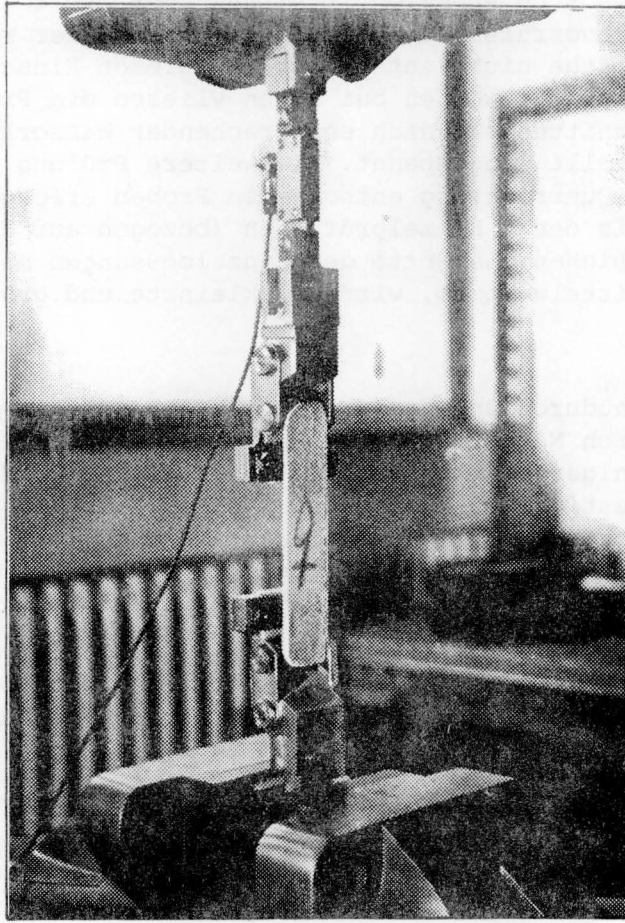


Abb. 1 Klemmvorrichtung der Prüfmaschine mit eingespannter Probe

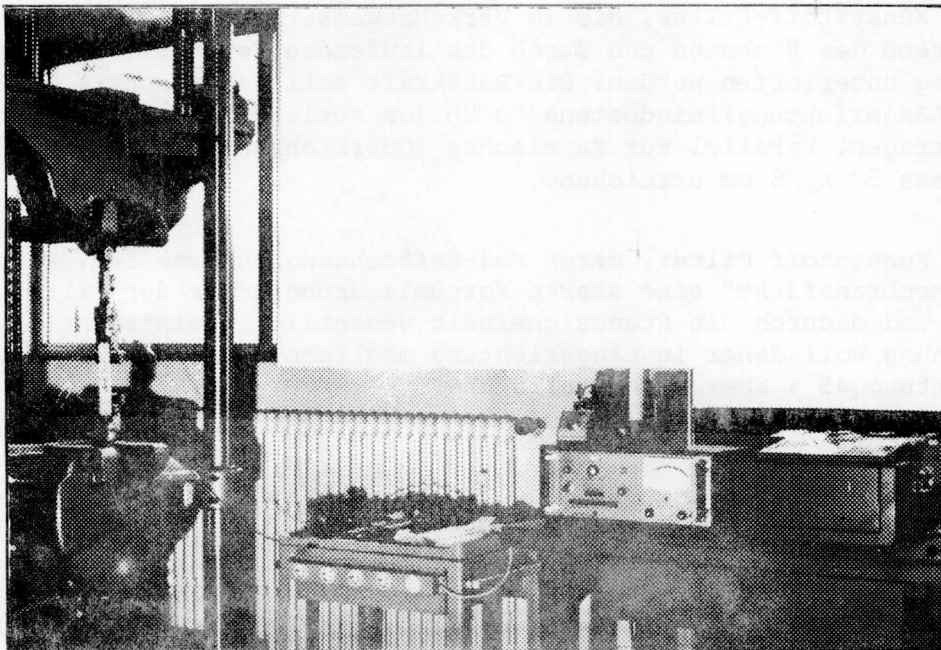


Abb. 2 Gesamte Meßeinrichtung mit der MAN-Universalprüfmaschine und dem Schreiber



Bei Vliesen (Filzen), die kein starkes Stützgewebe enthalten, kann die Reißdehnung des 5 cm schmalen Streifens über 150 % ansteigen und einen Einschnüreffekt hervorrufen, der den Belastungen einer realen, quasi unendlichen Filterfläche nicht entspricht. Um diesen Einschnüreffekt möglichst gering zu halten, werden bei allen Vliesen die Probestreifen in 15 cm Breite geschnitten und nach entsprechender Wasserlagerung schlauchförmig zusammengerollt eingespannt. Die weitere Prüfung der auch bei Vliesen in Längs- und Querrichtung entnommenen Proben erfolgt wie bei den Geweben. Das Ergebnis der 5 Einzelprüfungen (bezogen auf den 5 cm Streifen) wird gemittelt. Weichen die Werte der Einzelmessungen mehr als  $\pm 10\%$  von dem reduzierten Mittelwert ab, wird der kleinste und größte Wert mit angegeben.

Je nach Baudurchführung werden die Verbindungen der einzelnen Filterbahnen, die durch Nähen, Schweißen oder Kleben hergestellt werden können, mehr oder weniger stark belastet. Generell sollte darauf geachtet werden, daß die Festigkeitseigenschaften einer Filterbahn durch die "Verbindungsnahte" nicht wesentlich vermindert werden, d.h. die Nahte sind möglichst so auszuführen, daß die Werte von Reißkraft und Reißdehnung der Nahtstellen den Festigkeitswerten des Filtermaterials entsprechen.

Gewebe und Vliese, die nicht aus dicken, monofilen Fäden hergestellt sind, können unter dem Einfluß wechselseitiger turbulenter Durchströmung einem "Walkprozess" unterworfen werden. Hierbei verfilzen sich die Einzelfäden miteinander, und die Festigkeitswerte nehmen in relativ kurzer Zeit erheblich zu. Naturgemäß ist die Festigkeitszunahme bei Vliesen, wo sie 300 % des Ausgangswertes erreichen kann, größer als bei Geweben.

### Beurteilungskriterien der Reißkraft und Reißdehnung

Kunststoff-Filter, die im Verkehrswasserbau Verwendung finden, können während des Einbaues und durch den laufenden Verkehr einer hohen Zugbelastung unterworfen werden. Die Reißkraft soll daher senkrecht zur Kanalachse (Längsrichtung) mindestens 70 kp (am evtl. umgerechneten 5 cm-Streifen) betragen. Parallel zur Kanalachse (Querrichtung) muß die Reißkraft mindestens 50 kp/5 cm erreichen.

Kunststoff-Filter, deren Naß-Reißdehnung zu groß ist, können über einen "Membraneffekt" eine starke Kornumlagerung unter der Filterschicht anregen und dadurch die Standsicherheit wesentlich beeinträchtigen. Die Reißdehnung soll daher in Längsrichtung möglichst nahe bei 20 % liegen, in Querrichtung 45 % aber keinesfalls übersteigen.

### 3.2 Die Prüfung der Abriebfestigkeit

Filterflächen sind nicht nur während des Einbaues reibenden oder scheuernden Belastungen unterworfen. Auch unter Wellen- und Strömungsangriffen können scheuernde Vorgänge entstehen, z.B. durch locker liegende Schüttsteine o.ä. Die Abriebfestigkeit ist daher eine wichtige Kennziffer für das Verhalten von Kunststoff-Filtern unter diesen Belastungen.

Die Prüfung der Abriebfestigkeit erfolgt durch eine in der BAW entwickelte Apparatur<sup>x)</sup>, die aus einer rotierenden Trommel mit 8 Abriebflächen besteht (Abb.3).

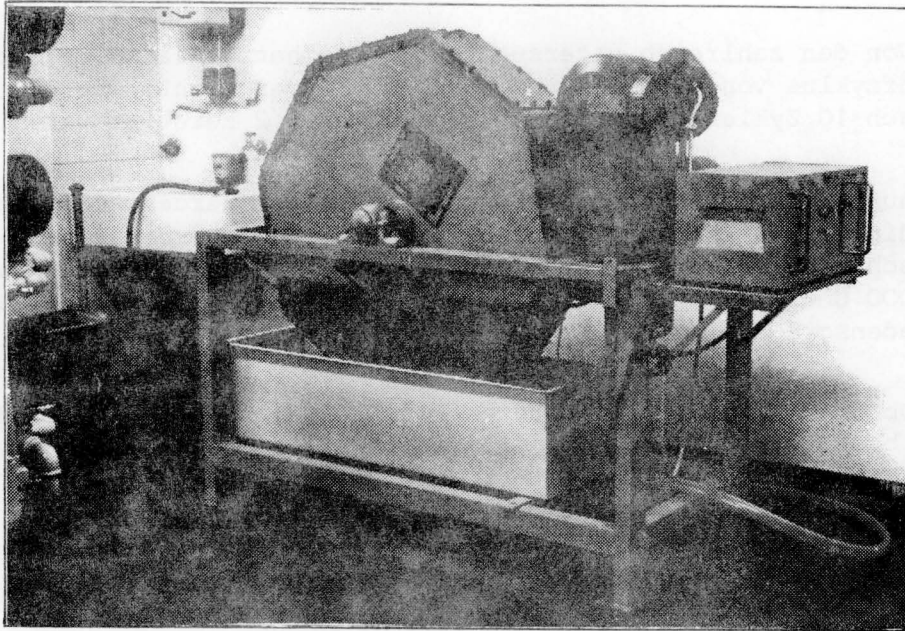


Abb. 3 Apparatur zur Prüfung der Abriebfestigkeit

Die Gewebe- und Vliesproben werden auf Stahlplatten (Prüffläche 200x300 mm) gespannt und in die 8 Abriebfelder eingebaut. Die Trommel wird mit einer Mischung, bestehend aus

- 2 kg scharfem Basaltsplitt der Körnung 8/12 mm Ø
- 1 kg scharfem Basaltsplitt der Körnung 5/8 mm Ø
- 1 kg scharfem Basaltsplitt der Körnung 3/5 mm Ø
- 8 Liter Wasser,

beschickt. Durch die Rotation der Trommel bewegt sich das Basaltsplitt-Wassergemisch rutschend und reibend über die Prüfflächen und erzeugt einen Abrieb. Die Trommel dreht sich mit einer Geschwindigkeit von 16 U/min., ändert nach 5 000 Umdrehungen die Drehrichtung und stellt sich nach 40 000 Umdrehungen selbständig ab. Die Proben werden ausgebaut, gewaschen, getrocknet und begutachtet. Hierzu wird eine "Prüffläche" (100x200 mm) in der Mitte der Probe nach folgendem Schlüssel beurteilt:

- 1 Keine Veränderung feststellbar,
- 2 ohne nennenswerte Schäden,
- 3 leichte Schäden, bedingt funktionsfähig,
- 4 starke Schäden, z.B. Veränderung der Gewebestruktur
- 5 als Filter unbrauchbar (Auftreten von Löchern).

x) Siehe Verkehrsblatt des BVM, H.9, 1972, Verkehrs- u. Wirtschaftsverlag Dr. Borgmann, 46 Dortmund, Postfach 748

Die begutachteten Proben werden wieder eingebaut und, nachdem die Apparatur mit einer frischen Basaltsplitt-Mischung beschickt worden ist, weiteren 40 000 Umdrehungen unterworfen. Dieser Prüfgang wiederholt sich bis zur Zerstörung. Für eine Prüfung werden jeweils 2 Proben in Längs- und Querrichtung geschnitten, 48 Stunden unter Wasser gelagert und gemeinsam in die Abriebstrommel eingebaut.

Von den zahlreich untersuchten Proben hatten einzelne bereits nach einem Prüfzyklus von 40 000 den Schadensgrad 5 erreicht, während andere Proben nach 10 Zyklen erst bis zum Schadensgrad 2 zerstört waren.

Aus den Prüfbeobachtungen kann abgeleitet werden, daß Kunststoff-Filter, die unter einer Schüttsteindecke eingebaut werden oder sonstigen starken scheuernden Belastungen unterliegen können, in beiden Richtungen nach 80 000 Umdrehungen mindestens noch bedingt funktionsfähig sein sollten (Schadensgrad 3).

Ob dieser Wert nach weiteren Erfahrungen noch etwas geändert werden muß, bleibt abzuwarten. Aus Gründen der Sicherheit sollten, wenn die übrigen Voraussetzungen wie Filterstabilität etc. gegeben sind, Filter mit der höheren Abriebfestigkeit gewählt werden.

### 3.3 Prüfung der Durchschlagfestigkeit

Zur Beurteilung der Festigkeit von Kunststoff-Filtern gegenüber Stoß- und Schlagbelastungen, wie sie z.B. durch das Abwerfen von Wasserbausteinen während des Einbringens der Schüttsteindecke entstehen können, wurde ein Verfahren entwickelt, dessen Ergebnisse als "Durchschlagsfestigkeit" bezeichnet werden. Die Bestimmung dieser Kennziffer erfolgt mit einem Gerät, welches im wesentlichen aus einem Stahlrohr von 53 mm lichter Weite und einer Höhe von 2 m besteht (Abb.4).

In dieses Rohr wird ein zylindrisches Fallgewicht ( $\varnothing = 49$  mm) mit einer abgerundeten Kegelspitze ( $\alpha = 75^\circ$ ,  $r = 1,0$  cm) eingesetzt (Abb.5). Zur Prüfung werden jeweils 5 Proben nach 48-stündiger Wasserlagerung auf eine Stahlplatte mit einer Öffnung von 15 cm  $\varnothing$  gespannt.

Über einen Seilzug mit Umlenkrolle wird das Fallgewicht aus 1 m Höhe 5 mal auf die horizontal eingespannte Probe fallengelassen. Hierbei dürfen keine wesentlichen Veränderungen der Gewebestruktur entstehen. Die Beurteilung erfolgt nach dem auf S.129 beschriebenen Bewertungsschlüssel.

Vergleichsmessungen wurden folgendermaßen durchgeführt: Unterschiedliche Kunststoff-Filter, welche die beschriebene Belastung gerade aushielten, wurden horizontal auf ein Kopfsteinpflaster, das mit einer 3-4 cm hohen Sandschicht bedeckt war, ausgelegt. Ein scharfkantiger Granitstein, 15 kg schwer, wurde aus 4,5 m Höhe so fallen gelassen, daß eine Ecke auf die Filterproben aufschlug. In allen untersuchten Fällen waren die Filter zumindest noch bedingt funktionsfähig.

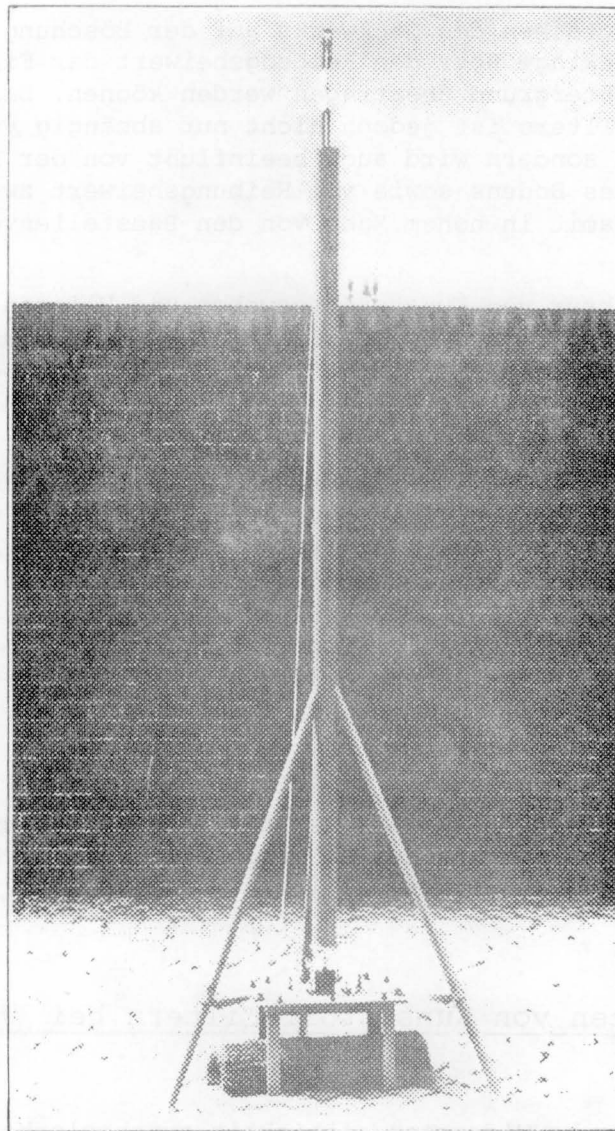


Abb.4 Gerät für die Prüfung der Durchschlagfestigkeit

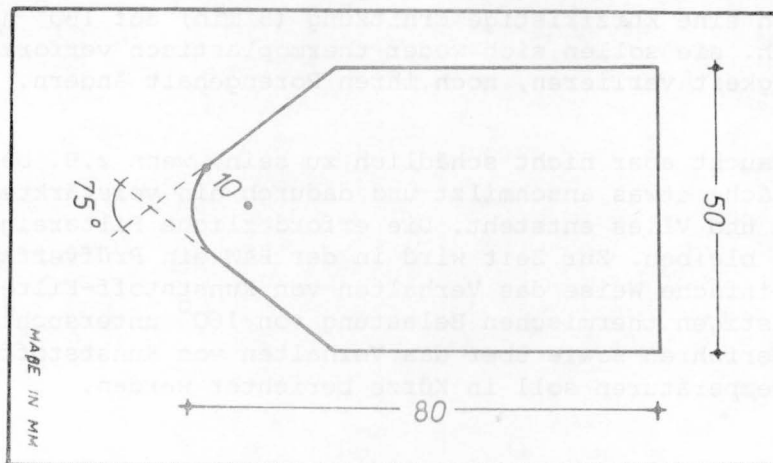


Abb.5 Skizze des Fallgewichtes

### 3.4 Prüfung des Reibungsbeiwertes

Um ein Abrutschen des Deckwerks auf der Böschung auszuschließen, muß das Gewicht der Decklage über den Reibungsbeiwert der Filterschicht sicher auf den Böschungsuntergrund übertragen werden können. Das Reibungsverhalten eines Kunststoff-Filter ist jedoch nicht nur abhängig von seinen Oberflächeneigenschaften, sondern wird auch beeinflusst von der Lagerungsdichte und der Kornstruktur des Bodens sowie vom Reibungsbeiwert zwischen Boden und Filter und hängt damit in hohem Maße von den Baustellenverhältnissen ab.

Diese Struktur von Kunststoffgeweben und Vliesen bewirkt eine verhältnismäßig gute Verklammerung des Filters mit der Bodengrenzfläche; es wird im allgemeinen davon ausgegangen, daß der Reibungsbeiwert in dieser Grenzschicht den Wert des anstehenden Bodens erreicht (Bruchfläche im Boden).

Ein erheblicher Unsicherheitsfaktor liegt aber darin, daß sich auf der Oberfläche der Böschung eine Schmierschicht bildet, wenn die Böschung vor dem Einbau der Filtergewebe unter Wasser liegt. Die Art und Dicke dieser Schicht ist abhängig vom Gehalt des Wassers an feinen Schwebstoffen (tonige Bestandteile mit Korngrößen etwa unter 0,01 mm), sie kann sich auch dann bilden, wenn noch keine Schiffahrt im Kanal vorhanden ist. Ob sich eine solche Schicht im Betrieb auch dann bilden kann, wenn die Filter mit der daraufliegenden Decke im Trockenem eingebaut wurden, bedarf ebenfalls der Prüfung.

Um eine Aussage über diese Verhältnisse zu gewinnen, werden z.Z. Untersuchungen zur Bestimmung des Reibungsbeiwertes von Kunststoff-Filtern auf Böschungen durchgeführt.

### 3.5 Das Verhalten von Kunststoff-Filtern bei thermischer Beanspruchung

Die thermische Widerstandsfähigkeit synthetischer Fasern ist durch die Art des Fasermaterials und der chemischen Ausrüstung der Faser bestimmt. Kunststoff-Filter, die unter asphaltgebundenen Deckwerken eingebaut werden sollen, sind nach ihrer Zusammensetzung so zu bemessen, daß sich ihre Eigenschaften durch eine kurzfristige Erhitzung (5 min) auf 160° nicht wesentlich verändern, d.h. sie sollen sich weder thermoplastisch verformen (schrumpfen), noch an Festigkeit verlieren, noch ihren Porengehalt ändern.

Es braucht aber nicht schädlich zu sein, wenn z.B. bei Vliesen die obere Grenzfläche etwas anschmilzt und dadurch ein verstärkter Verbund zwischen Asphalt und Vlies entsteht. Die erforderliche Filtereigenschaft muß aber erhalten bleiben. Zur Zeit wird in der BAW ein Prüfverfahren entwickelt, mit dem auf einfache Weise das Verhalten von Kunststoff-Filtern gegenüber einer kurzfristigen thermischen Belastung von 160° untersucht werden kann. Über dieses Verfahren sowie über das Verhalten von Kunststoff-Filtern gegenüber tiefen Temperaturen soll in Kürze berichtet werden.

#### 4. Die Prüfung der Filter-Eigenschaften

Die hydraulische Filterstabilität eines Gewebes, d.h. seine Wasserdurchlässigkeit, ist abhängig von der Fadendicke und der Maschenweite, also vom Flächenverhältnis der Maschenöffnungen. Daneben wird die Durchlässigkeit beeinflusst von der Webart sowie von den Oberflächeneigenschaften der Kett- und Schußfäden. Bei Filter-Vliesen ist der Durchlässigkeitskoeffizient gegeben durch das wirksame Porenvolumen und den mittleren Durchmesser der Poren.

##### 4.1 Die Maschenweite

Bei "Monofil-Gittern" läßt sich die Maschenweite sehr einfach mit Hilfe einer Meßlupe durch wenige Einzelmessungen bestimmen oder durch eine Nahaufnahme fotografisch ermitteln (Abb.6). Bei dickeren Geweben, besonders solchen mit enger Leinenstruktur- oder Körperbindung (Abb.7) oder Geweben aus multifil gezwirnten Garnen, läßt sich die Maschenweite oft nach einer größeren Zahl von Einzelmessungen nur ungefähr angeben.

4.2 Die offene Siebfläche (Öffnungsverhältnis) gibt die prozentuale Öffnungsfläche (bezogen auf die Gesamtfläche) an. Sie läßt sich aus Fadendicke (Kette und Schuß), Fadenzahl pro Flächeneinheit und Maschenweite (als Kontrollwert) leicht errechnen.

4.3 Das effektive Porenvolumen wird bei Filter-Vliesen angegeben und ersetzt hier das Öffnungsverhältnis von Geweben. Bei Vliesen aus relativ dicken, monofilen Fäden (z.B. Terrafix) wird zur Bestimmung zunächst das Volumen pro Dezimeter Filterfläche gemessen. Ein Probestreifen von 50x200 mm wird etwas zusammengerollt und in einen feinkalibrierten, möglichst engen Meßzylinder, der mit einer 2 %igen Netzmittellösung bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt ist, eingeschoben. Durch mehrmaliges Einstoßen in das Netzmittel werden anhaftende Luftbläschen beseitigt. Der Anstieg des Netzmittels wird mindestens 5 mal gemessen. Das Gesamtvolumen des trockenen Vlieses - vermindert um das Eintauchvolumen - ergibt das effektive Porenvolumen. Es wird in Prozent des Gesamtvolumens angegeben.

Bei sehr feinporigen Vliesen versagt diese Methode, da sich nicht alle Luftbläschen verdrängen lassen. Das effektive Porenvolumen läßt sich hier nur durch Trockensiebung mit tonigem Schluffmaterial bis zum völligen Zusetzen des Filters und anschließendem Auswiegen unter Berücksichtigung des Porenvolumens bei lockerster Lagerungsdichte angenähert bestimmen. (Da hierbei das Porenvolumen von feinkörnigen Gemischen je nach Tonanteil zwischen 30 und 70 Prozent schwanken kann, ist auch die Angabe des effektiven Porenvolumens entsprechend ungenau). Nach den bisherigen Messungen liegt das wirksame Porenvolumen von Filtervliesen zwischen 60 bis 75 % des Gesamtvolumens.

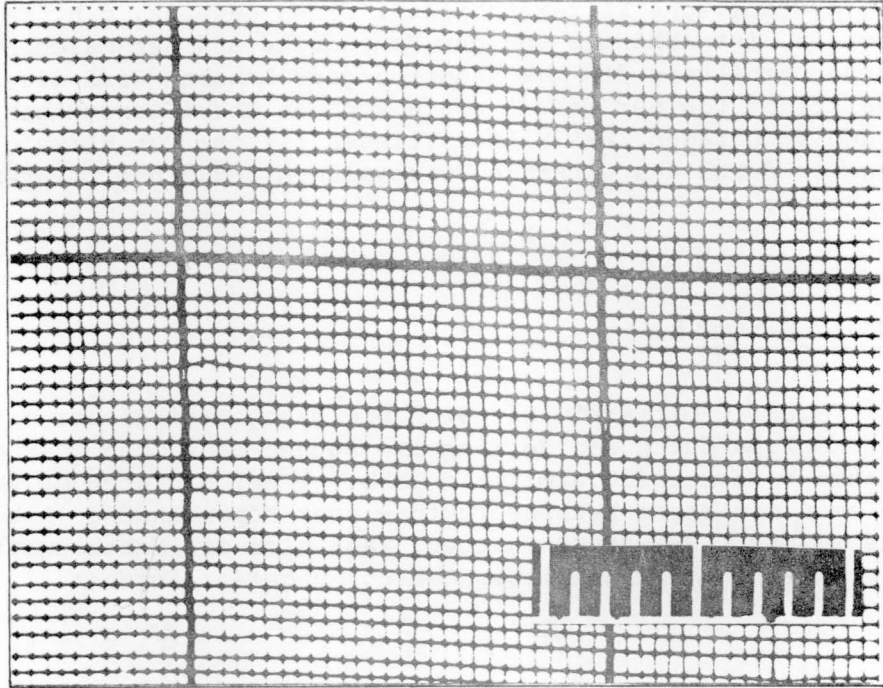


Abb. 6 "Monofil-Gitter"

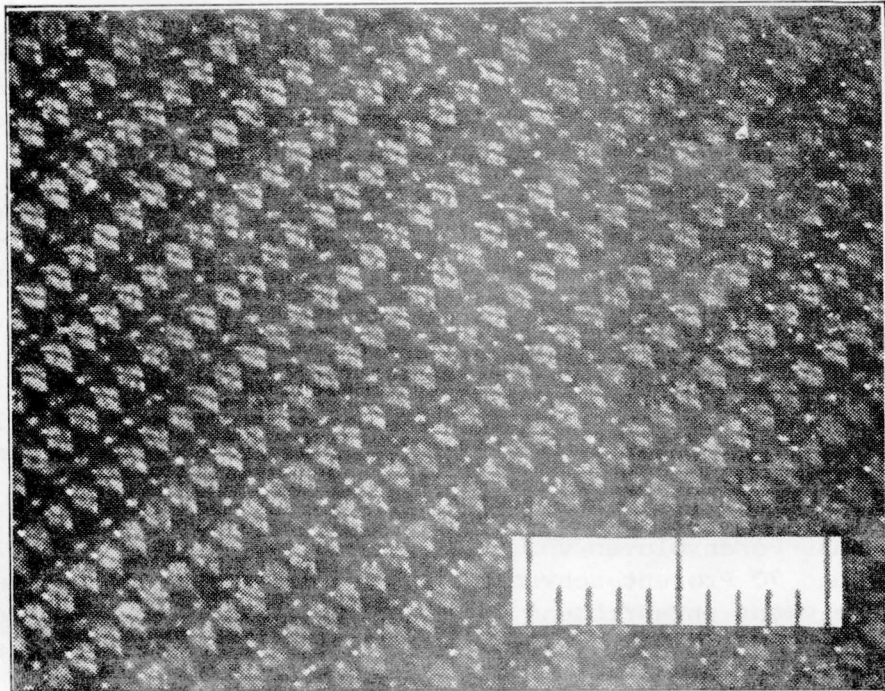


Abb. 7 Dickes Filtergewebe in Körperbindung

#### 4.4 Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit erfolgt in Anlehnung an die aus der Bodenmechanik bekannten Verfahren ([17]). Im allgemeinen werden zwei verschiedene Methoden angewendet:

- 1) Durchströmung mit konstanter Druckhöhe
- 2) Durchströmung mit abnehmender Druckhöhe.

Beide Verfahren sind in Anordnung und Durchführung an sich einfach. Da die Prüfung bei konstanter Druckhöhe jedoch mehr Fehlerquellen einschließt und größeren Zeitaufwand benötigt, wird in der BAW die Wasserdurchlässigkeit bei abnehmender Druckhöhe bestimmt.

Das Gerät besteht aus einem senkrecht stehenden Plexiglasrohr von 12,5 cm Durchmesser. Am unteren Ende befindet sich die luftdichte Einspannvorrichtung für die Filterproben mit einer Durchflußöffnung von 3,5 cm Durchmesser. An der unteren, trichterförmigen Platte der Einspannvorrichtung ist ein weiter Kunststoffschlauch befestigt, der das Standrohr mit einer wassergefüllten Ausgleichwanne (35x30x10 cm) verbindet (Abb. 8 und 9).

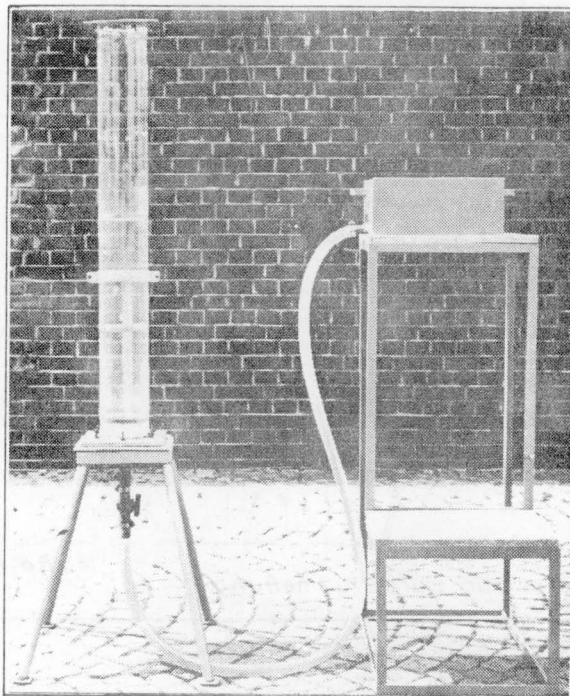


Abb.8 Gerät zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit

Die Proben werden wassergesättigt eingebaut. Durch Heben der Ausgleichwanne wird der Zylinder bis zur obersten Marke gefüllt. Nach Absenken der Wanne wird die Zeit gemessen, in welcher der Wasserspiegel im Zylinder 25 cm absinkt (von der mittleren bis zur unteren Marke). Das mittlere Druckgefälle (zwischen den Wasserspiegeln in Zylinder und Ausgleichwanne) beträgt hierbei 35 cm. Für eine Bestimmung wird der Mittelwert aus 10 Einzelmessungen gebildet. Unter gleichen Bedingungen wird die Absinkzeit ohne Probe gemessen. Aus der Zeitdifferenz ergibt sich die Wasserdurchlässigkeit.



Bei vernadelten Filtervliesen, also solchen Kunststoff-Filtern, die eine "homogene Schichtdicke" von einigen Millimetern besitzen, läßt sich ein Durchlässigkeitsvergleichswert ermitteln. Bei allen untersuchten Proben schwankt er zwischen 0,35 cm/s und 0,7 cm/s und liegt somit im Durchlässigkeitsbereich von Mittelkies. Bei dünn-schichtigen Filtergeweben läßt sich der k-Vergleichswert nicht exakt bestimmen. Daher wird generell der mittlere Durchfluß in (ml/s · cm<sup>2</sup>) angegeben. Er beträgt bei

Leinenstruktur- und Köpergeweben	2 - 75	ml/s · cm <sup>2</sup>
Filtermatten	1 - 200	ml/s · cm <sup>2</sup>
Gittergeweben	50 - 1700	ml/s · cm <sup>2</sup>

Die hier angegebenen Werte der Wasserdurchlässigkeit sind streng geräteabhängig. Um vergleichbare Aussagen machen zu können, sollte angestrebt werden, daß alle Prüfstellen gleiche Prüfgeräte verwenden.

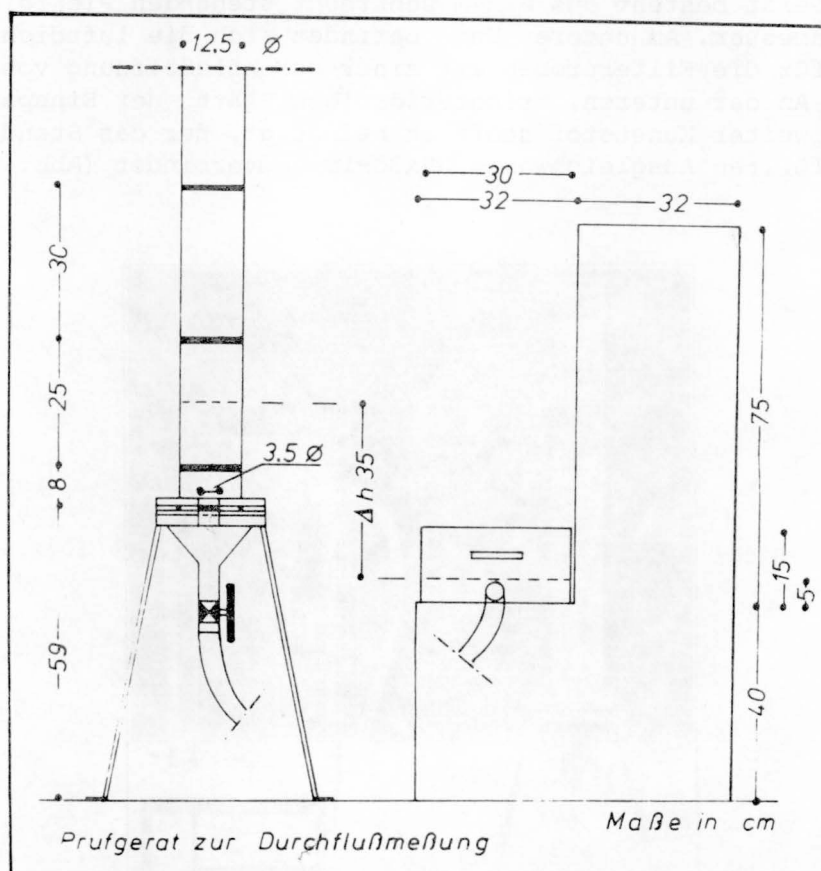


Abb. 9 Maßskizze des Gerätes

#### Beurteilungskriterien der Wasserdurchlässigkeit

Da in turbulent belasteten dünn-schichtigen Kunststoff-Filtern zum einen relativ hohe Durchströmungsgeschwindigkeiten auftreten können und zum anderen die Gefahr des Zusetzens besteht, sollten im Verkehrswasserbau nur solche Kunststoff-Filter verwendet werden, deren Durchlässigkeit mindestens eine Zehnerpotenz über der des abzufilternden Bodens liegt. Da Kunststoff-Filter in den meisten Fällen über feinkörnigen Böden eingebaut werden, ist diese 10 mal größere Durchlässigkeit mit mehr als 5 ml/s · cm<sup>2</sup> gewährleistet. Abb. 10 zeigt, daß dieser Wert nur von wenigen Filtertypen, sehr engmaschigen "Bändchen"-Geweben und chemisch stark verfestigten Vliesen, unterschritten wird.

#### 4.5 Die Prüfung der mechanischen Filterstabilität bei instationärer, wechselseitiger Durchströmung

Kunststoff-Filter werden verwendet, um Erosionen oder Auskolkungen von meist feinkörnigen Böden zu verhindern, d.h., die Verwendungsfähigkeit eines bestimmten Kunststoff-Filters ist in hohem Maße abhängig von seiner Langzeit-Filterstabilität.

Um einheitliche und vergleichbare Kennziffern für die stabilisierende Wirkung von Kunststoff-Filtern zu erhalten, wurden 4 verschiedene Bodentypen ausgewählt (Abb.11), die sowohl für den Küstenraum als auch für das Binnenland typische Lockersedimente repräsentieren. Mit diesen Bodentypen wird die mechanische Filterstabilität der unterschiedlichsten Filterarten untersucht. Die strömungsmechanischen Parameter, die während der Langzeitbelastung einer Filterschicht unter durchlässigen Deckwerken wirksam werden können, sind sehr komplexer Natur; sie sind wesentlich von der Art des Deckwerkes abhängig sowie von Größe und Art seiner hydrodynamischen Belastung; sie werden zusätzlich vom Material des Böschungsunterbaues sowie vom Grundwassergefälle beeinflusst. Da zur Beurteilung der tatsächlichen Filterwirksamkeit die hydrodynamische Belastung von Filterschichten den natürlichen Verhältnissen wenigstens angenähert entsprechen sollte, wurde eine einfache Vorrichtung entwickelt, womit sich ohne großen Aufwand physikalisch eindeutig definierbare und reproduzierbare Ergebnisse erhalten lassen.

Die Vorrichtung besteht aus 10 Prüfbehältern, die durch einen automatisch gesteuerten Antrieb in wassergefüllte Eimer eingetaucht werden, 30 Sekunden unter Wasser bleiben, etwa 40 cm angehoben werden, 30 Sekunden oben bleiben und danach wieder in das Wasser abgesenkt werden (Abb.12). In die Prüfbehälter, Hart-PVC-Ringe mit 10 cm Höhe und 15 cm  $\varnothing$ , werden 1500 g Bodenmaterial der Typenböden eingefüllt und mit dem zu untersuchenden Kunststoff-Filter beidseitig verschlossen (Abb.13). Durch eine schräge Aufhängung der Prüfbehälter können die Filterflächen, die zusammen 350 cm<sup>2</sup> betragen, gut durchspült und entlüftet werden. Die hydrodynamische Belastung der Filterflächen entspricht hierbei etwa böschungähnlichen Verhältnissen bei Durchfahrt eines Schiffes.

In einheitlichen Zeitabständen werden die Plastik-Eimer, die unter den Prüfbehältern stehen, gegen sedimentfreie, frische Eimer ausgetauscht und die Belastung ohne Unterbrechung fortgesetzt. Inzwischen wird das in den jeweils entnommenen Eimern befindliche, durch die Filterschicht hindurchgespülte Bodenmaterial quantitativ bestimmt. Hierzu wird das Bodenmaterial über eine Filternutsche abgesaugt, getrocknet, ausgewogen und, wenn möglich, seine Kornverteilung ermittelt.

Der Sedimentdurchgang in der Zeiteinheit wird logarithmisch aufgetragen. Die so erhaltene Summenkurve, die für Filter und Bodentyp charakteristisch ist, läßt nicht nur die Gesamtmenge an ausgespültem Bodenmaterial erkennen, sondern gibt auch an, ob und wie weit sich ein Filter im Laufe der Zeit stabilisiert (s. Abb.14 bis 19). Mit dem Sedimentdurchgang wird gleichzeitig die Wassermenge gemessen, die während einer Hubphase aus dem mit Boden beschickten Prüfbehälter ausfließt. Die Veränderung dieser Wassermenge bei fortschreitender Stabilisierung der Filterschicht wird ebenfalls graphisch dargestellt. Der Verlauf beider Kurven und der Vergleich mit der gemessenen Wasserdurchlässigkeit (4.4) ist für die Gesamtbeurteilung der Filterwirksamkeit entscheidend.

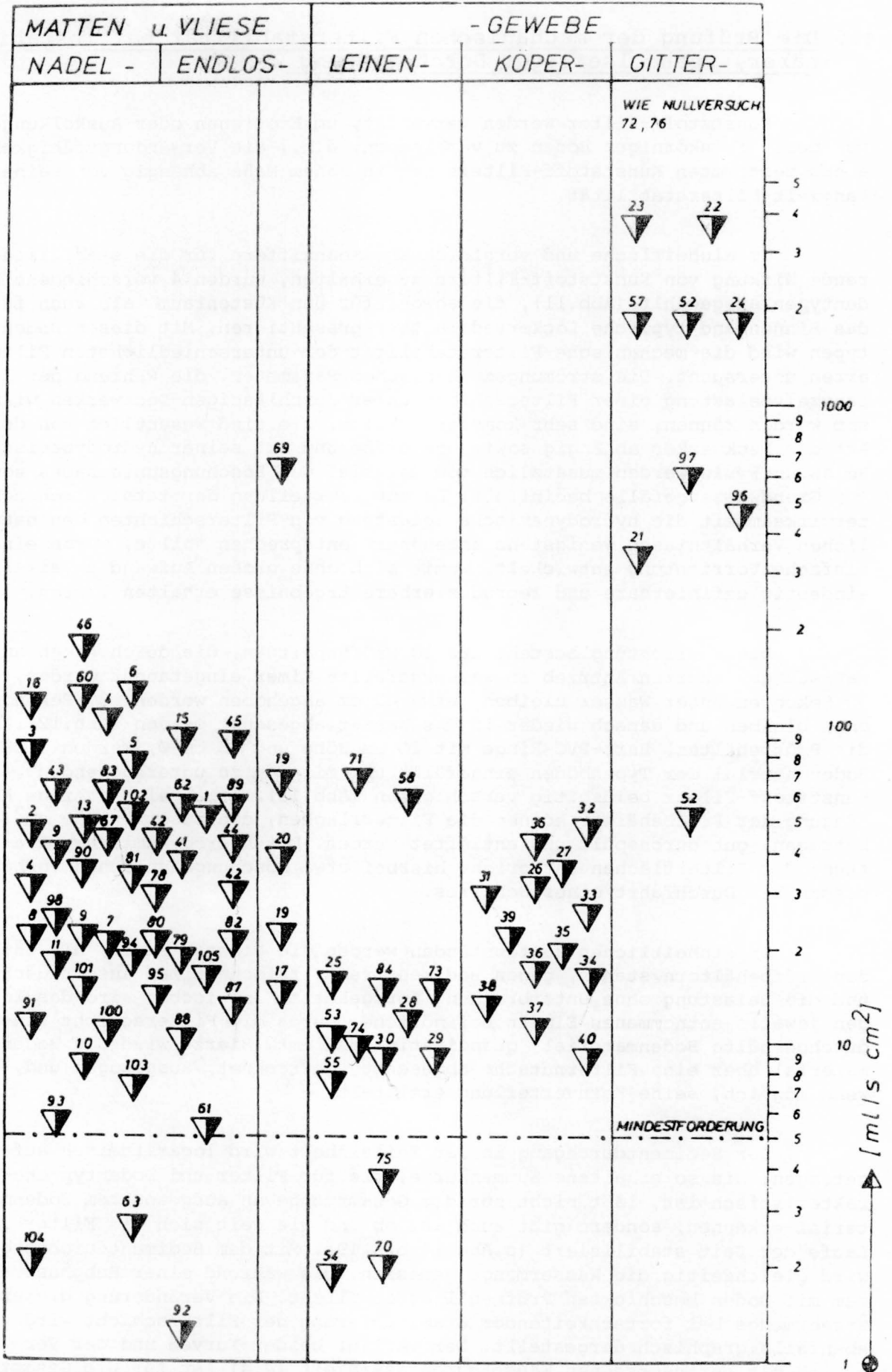


Abb.10 Wasserdurchlässigkeit ohne Sediment

Matten und Vliese

N 1	Bidim I		
N 2	Bidim II		
N 3	Bidim V		
N 4	Hoechst Trevira		
	Spunbond	500	
N 5	"	300	
N 6	"	200	
N 7	Bitumarin		
	Sodipas	900	
N 8	"	600	
N 9	Bitumarin		
	Colback	2,5	
N 10	Breuer		
	Brekodam	SY 500 f	
N 11	"	SY 600 t	
N 12	NAUE		
	Terrafix	N 1000	
N 13	"	N 500	
N 14	"	N 300	
N 15	"	V 92 180 N	
N 16	Huesker Hate eins.vern		
E 17	Du Pont Typar R	3400	
E 18	"	3301	
E 19	"	3202	
E 20	Nicolon	22002	
N 41	Bidim	C 65	
N 42	"	U 44	
N 43	"	U 34	
E 44	Hoechst Trevira		
	Spunbond	500 fix	
E 45	"	300 fix	
E 46	Hoechst Trevira		
	Spunbond	200 fix	
N 60	Ripken Filtan		
	Duo Filter	04012	
N 61	Duo Polyfilter	PP 02005	
N 62	Duo Polyfilterfilz	03015	
N 63	Duo Polyfilter	PP 020051	
N 67	Duo Polyfilter	G 02002	
E 69	Nicolon	22004	
N 78	Breuer Brekodam	M 1	
N 79	Breuer Brekodam	M 2	
N 80	Breuer Brekodam	M 3	
N 81	Breuer Brekodam	M 4	
N 82	Breuer Brekodam	M 5	
N 83	Breuer Brekodam	ML SK 65	
N 87	Ripken Polan	1500	
N 88	Ripken Polan	1300	
N 89	NAUE R	200	
N 90	NAUE N	200	
N 91	Breuer	40/F/2	
N 92	Breuer	95/800/09/2	
N 93	Breuer	20/800/09/2	
N 94	Breuer	55/GEL/2	
N 98	Breuer	Sy 300 t	
N 99	Breuer	500 t	

Matten und Vliese

N 100	Breuer	50/GEL/grau	
N 101	Breuer	30/GEL/2-3	
N 102	Breuer	30/GEL/O weiß	
N 103	Breuer	60/FO weiß	
N 104	Breuer	1200 g/m Gewebe ver-	
N 105	Ripken Filtan	02003	stärkt

Gewebe (Leinen-, Körper-, Gitter-)

G 21	Nicolon	66 382	
G 22	Nicolon	66 336	
G 23	Nicolon	66 301	
G 24	NINO 2	- 5013/1	
L 25	Nicolon	66 475	
K 26	Patchogue Plymouth		
	Propex	6 061	
K 27	Propex	6 062	
L 28	Bitumarin	RBA 750	
L 29	Bitumarin	820	
L 30	Bitumarin	NEN 750	
K 31	Nicolon	66 424	
K 32	Nicolon	66 470	
K 33	NINO 2-5003/1		
	Filterma 2		
K 34	Filterma	95-227/3	
K 35	Filterma	2-5002/1	
K 36	Filterma	2-5044/1	
K 37	Filterma	2-5030/1	Wangerooge 2
K 38	Filterma		Langeoog 2
K 39	Filterma		Juist 2
K 40	Filterma		Borkum 2
G 51	Nylon Polymer		Grobgitter
G 52	Nylon	"	Flachgitter
L 53	Nylon	"	Nylstrong Medium
L 54	Nylon	"	Strong
L 55	Nylon	"	Fineline
K 56	NICOLON	66 392	
G 57	"	66 373	
L 58	NINO	95-148	
L 70	NICOLON	66 481	
L 71	"	66 374	
G 72	"	66 380	
L 73	"	66 212	
L 74	"	66 298	
L 75	"	66 181	
G 76	"	66 346	
L 77	Nylon Polymer		
	Nylstrong Medium imp.		
L 84	Bitumarin	RBA 600	
G 96	Kümpers F	11/71 KT	
G 97	Kümpers F	15/71	

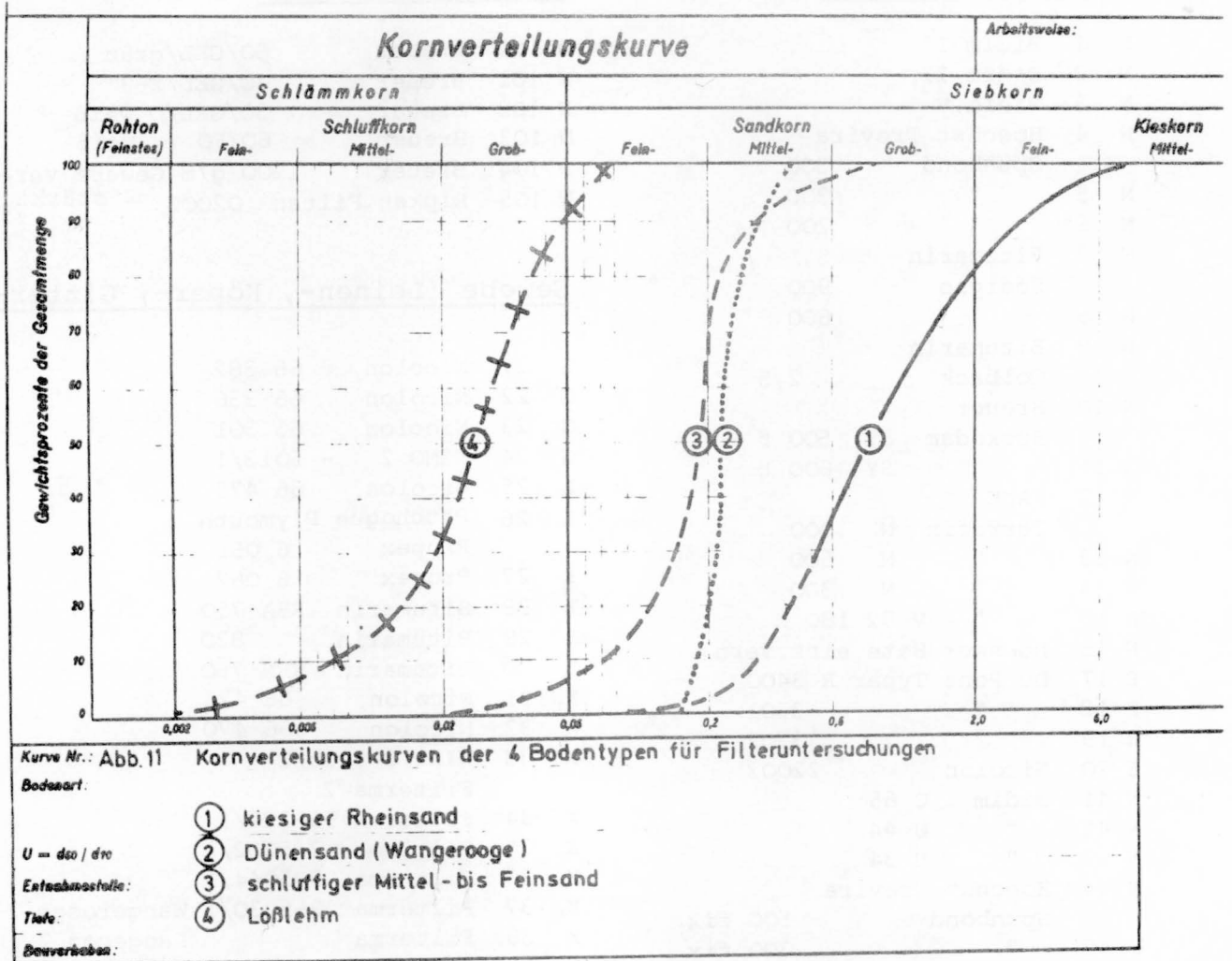


Abb.11 Kornverteilungskurven der 4 Bodentypen für Filteruntersuchungen



Abb.12 Vorrichtung für die Prüfung der Filterwirksamkeit

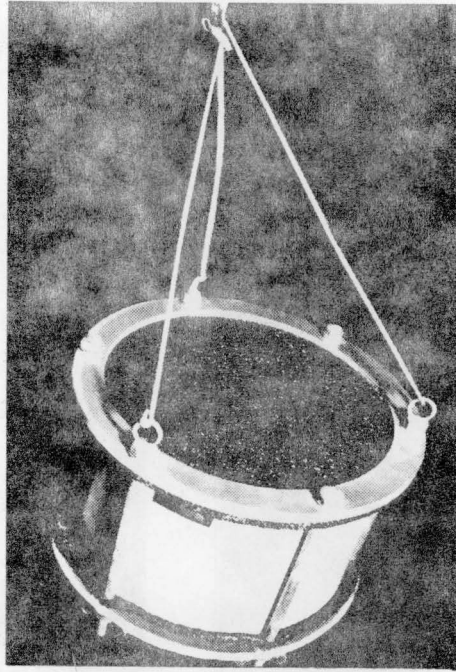


Abb.13 Prüfbehälter mit eingespannten Filterflächen

#### 4.6 Beurteilungskriterien für die Filterwirksamkeit

Die Kurven des Rückhaltevermögens (mechanische Filterwirksamkeit) eines enggewebten "Monofil-Gitters" (Abb.14) verdeutlichen die relativ schlechte Wirksamkeit dieses Filtertypes. Nach 17-stündiger wechselseitiger Durchströmung erreicht der Gesamtdurchgang des groben Bodentyps 1 45 g. Bei Mittelsand, Bodentyp 3, liegt der Durchgang bei 450 g. Der deutliche Anstieg beider Kurven zeigt, daß sich nach 17 Stunden noch kein stabiles Filter aufbauen konnte. Die entsprechende Wasserdurchlässigkeit (hydraulische Filterwirksamkeit) bleibt bei Bodentyp 1 konstant bei 550 ml. Bei Bodentyp 3 steigt sie nach Ausspülung des Feinkornanteils von 300 ml auf über 1000 ml an.

Günstiger liegen die Kurven bei einem Filtergewebe mit Leinenstrukturbindung (Abb.15). Der Gesamtdurchgang des Bodentyps 1 erreicht zwar nur 1,5 g, eine vollständige Stabilisierung des Filters ist aber noch nicht erreicht. Beim Bodentyp 3 ist wohl durch den Schluffanteil ein stabiler Filteraufbau entstanden, der Durchgang liegt bei 6 g. Bei dem gleichkörnigen Dünsand ist die Stabilisierung noch nicht ganz erreicht, der Durchgang liegt bei 9 g. Gegenüber Lößlehm ist praktisch keine Filterwirksamkeit vorhanden, mit konstantem Anstieg erreicht die Durchgangskurve nach 17 Stunden 200 g. Die entsprechenden Wasserdurchlässigkeiten liegen zwischen 35 und 150 ml, sie sind deutlich geringer als die des "Monofil-Gitters".

Der nächste Filtertyp, ein relativ dünnschichtiges und offenes Nadelvlies (Abb.16), ist gegenüber Dünsand absolut stabil, es hält ihn vollständig zurück. Der Bodentyp 1 verliert innerhalb der ersten 5 Stunden

Nahaufnahmen der beschriebenen Kunststoff-Filter

(Maßstab 1:1, außer Abb.15)

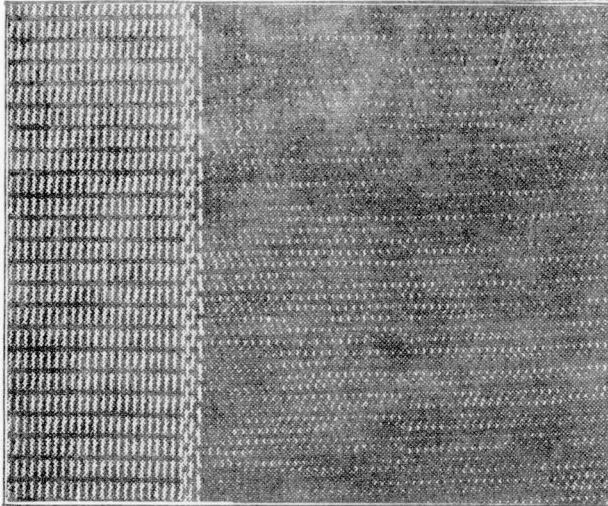


Abb. 14

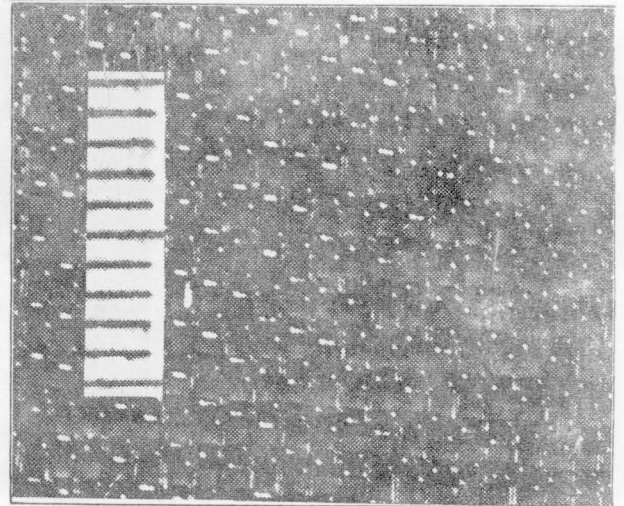


Abb. 15

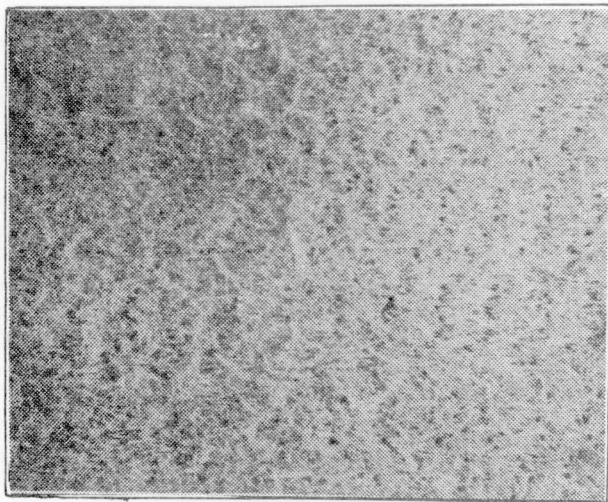


Abb. 16

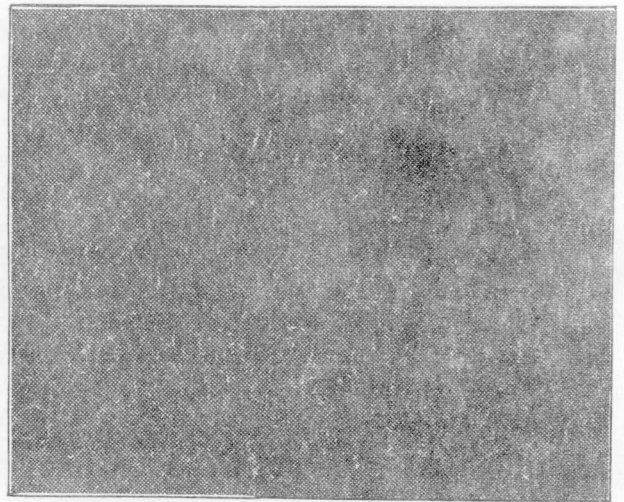


Abb. 17

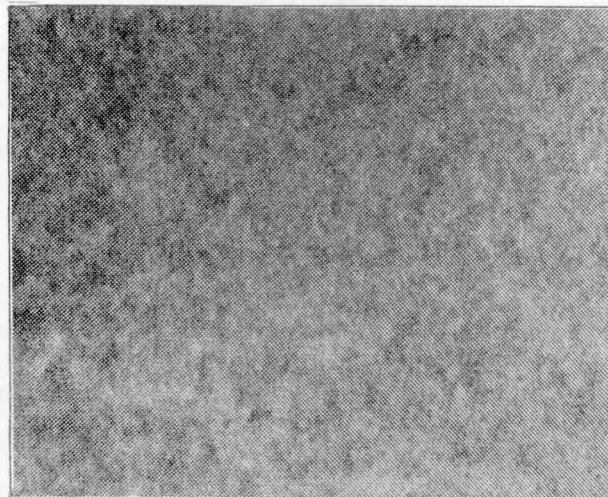


Abb. 18

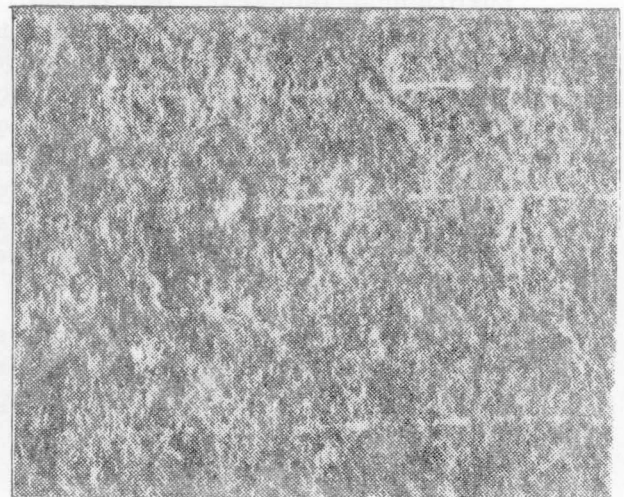


Abb. 19

seinen Feinstkornanteil (ca. 0,3 g), danach findet praktisch kein Sedimentdurchgang mehr statt, der Filter ist stabil. Der deutlich höhere Durchgang bei Mittelsand (Bodentyp 3) beschränkt sich auf den Schluffanteil (3,5 g). Nach 14 Stunden ist er größtenteils ausgewaschen, und der Filter beginnt sich zu stabilisieren. Der Durchgang des Lößlehms beträgt zwar 30 g, der Verlauf der Kurve zeigt aber, daß auch hier eine Stabilisierung stattfindet. Obwohl die Filterstabilitäten wesentlich besser sind als die der vorgenannten Filtergewebe, liegen die entsprechenden Wasserdurchlässigkeitswerte meist wesentlich höher. Nur die Wasserdurchlässigkeit des Filters mit dem Bodentyp 4 liegt um 20 ml unter der des Leinenstruktur-Gewebes.

Die Kurven des Rückhaltevermögens eines dickfädigen Wirrvlieses mit relativ großer Schichtdicke (Abb.17) zeigen deutlich, daß sich nach kurzer Zeit stabile Filter innerhalb der Vlies-Schicht aufbauen. Bei Dünnensand ist der Durchgang jedoch relativ hoch, da wohl die mittlere Porengröße der Filtermatte im Bereich des gleichkörnigen und nicht bindigen Sandes liegt. Die entsprechenden Wasserdurchlässigkeiten liegen trotz besserer Filtereigenschaften über denen des dünnen Nadelvlieses.

Der nächste Filtertyp, ein chemisch verfestigtes, dünnfädiges Nadelvlies (Abb.18) hat praktisch nur noch bei Lößlehm eine geringe Durchgängigkeit (7,5 g). Der Verlauf der Kurve zeigt jedoch auch hier eine beginnende Stabilisierung an. Naturgemäß sind die den Bodentypen zugeordneten Wasserdurchlässigkeiten geringer als bei den schon genannten Filtern. Sie liegen aber mit 30 bis 220 ml noch ausreichend hoch genug, um auch langfristig Wasserüberdruck unter der Filterschicht nicht entstehen zu lassen.

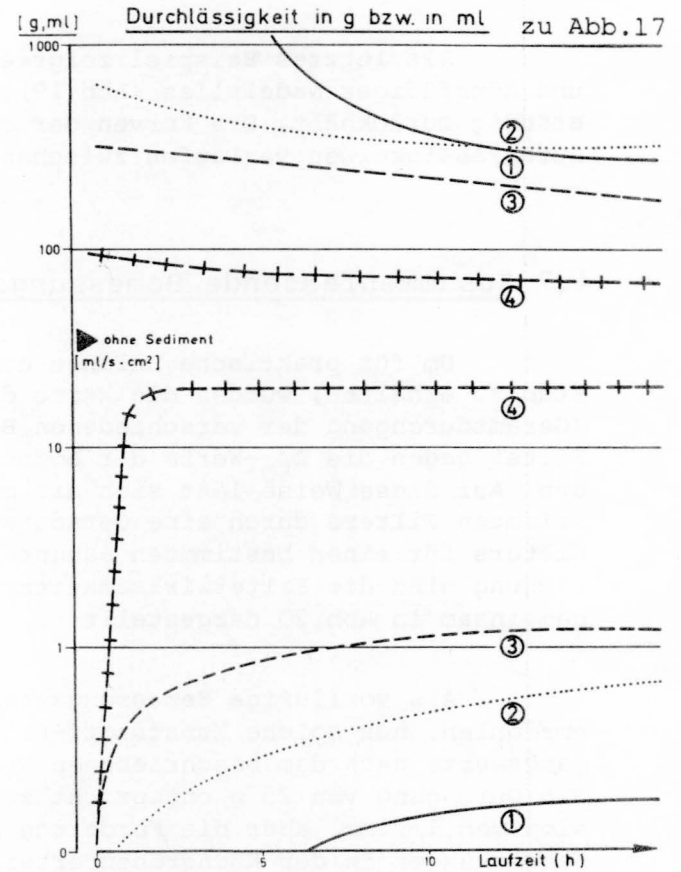
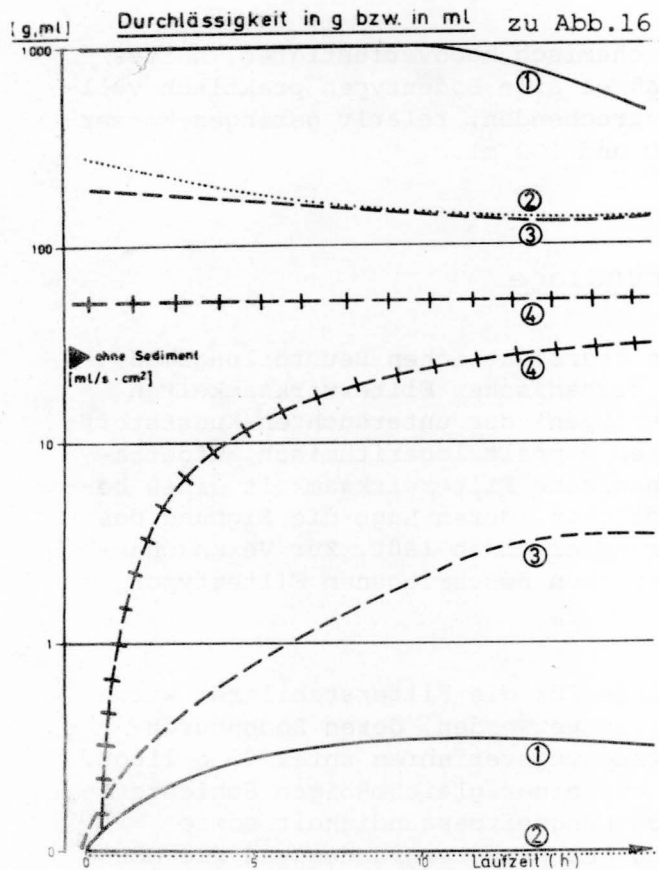
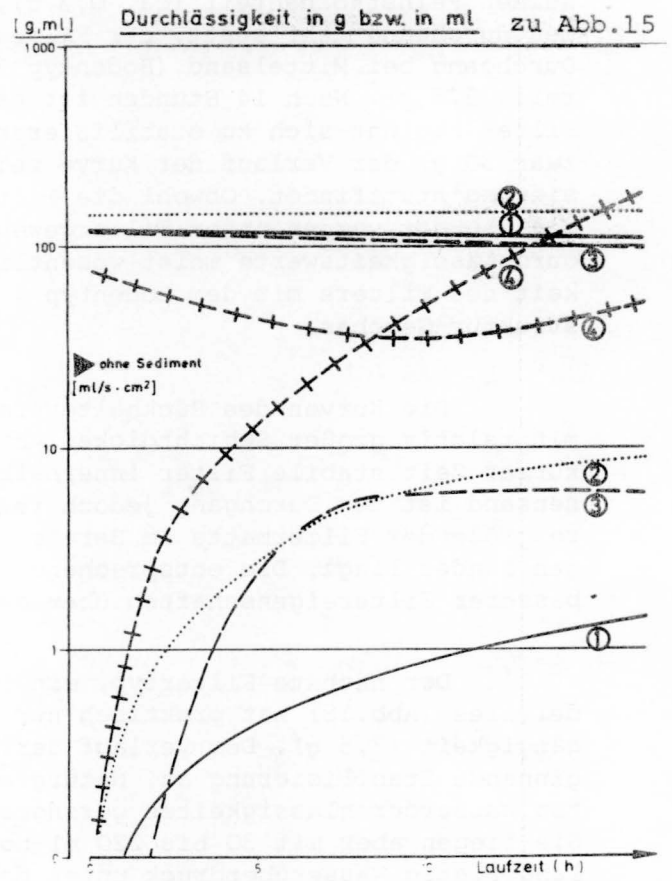
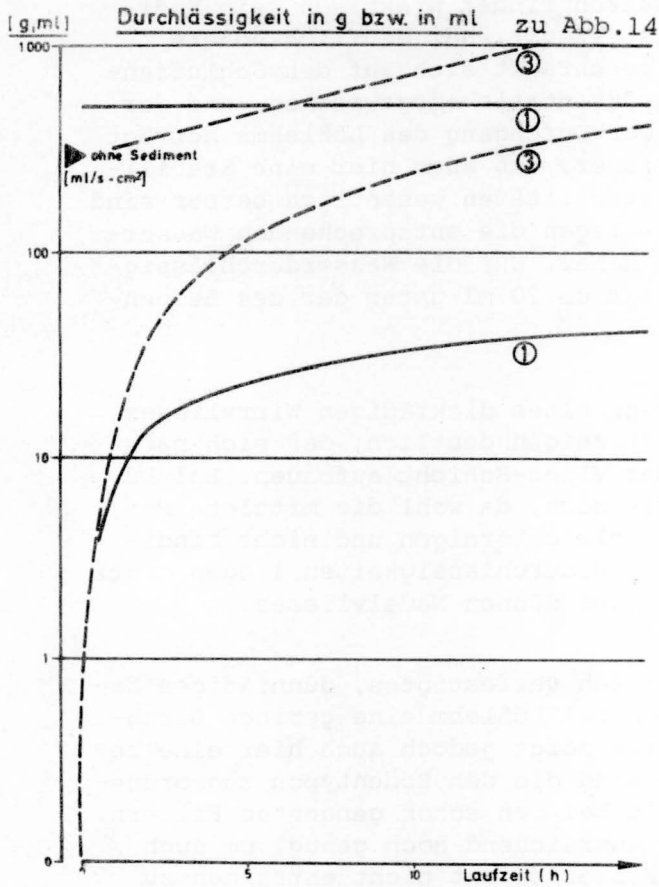
Als letztes Beispiel zeigt ein chemisch hochverfestigtes, hartes und dünnfädiges Nadelvlies (Abb.19), daß es alle Bodentypen praktisch vollständig zurückhält. Die Kurven der entsprechenden, relativ geringen Wasserdurchlässigkeiten verlaufen zwischen 20 und 100 ml.

#### 4.7 Zusammenfassende Bemessungsgrundlage

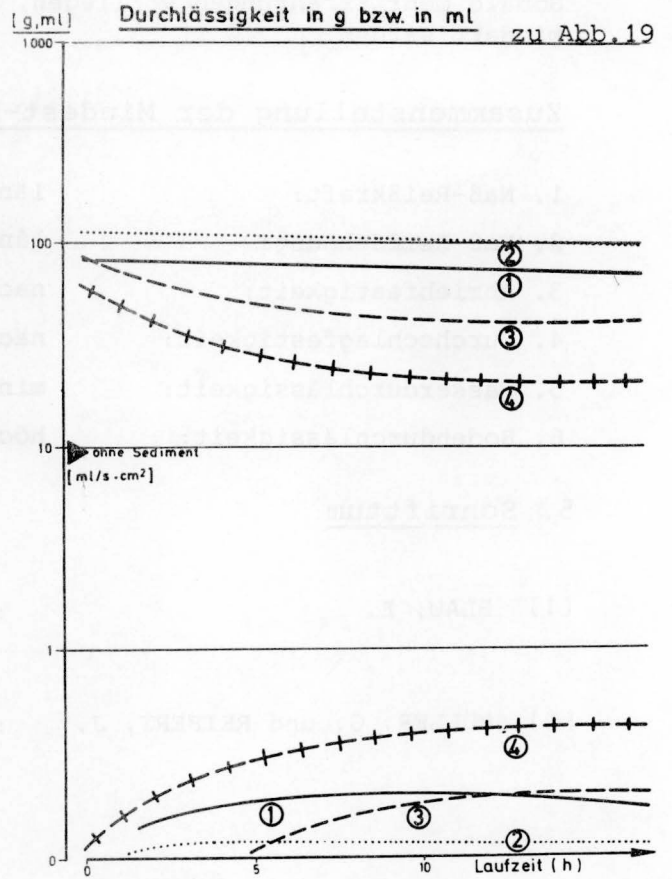
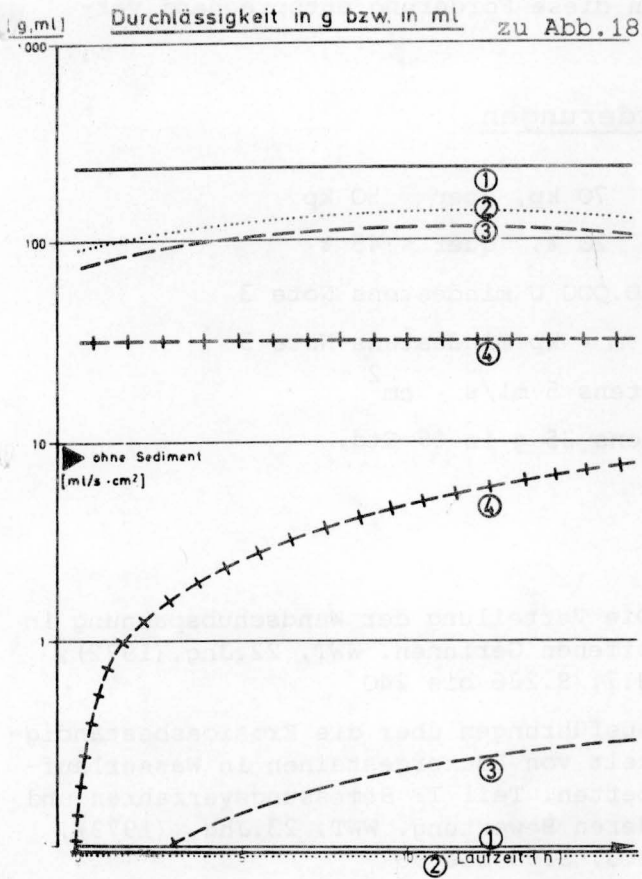
Um für praktische Belange einen übersichtlichen Beurteilungsmaßstab zu erhalten, wurden die Werte der mechanischen Filterwirksamkeiten (Gesamtdurchgang der verschiedenen Bodentypen) der untersuchten Kunststoff-Filter gegen die  $D_{50}$ -Werte der Bodentypen doppelt logarithmisch aufgetragen. Auf diese Weise läßt sich die mechanische Filterwirksamkeit eines bestimmten Filters durch eine Gerade ausdrücken, deren Lage die Eignung des Filters für einen bestimmten Bauuntergrund erkennen läßt. Zur Veranschaulichung sind die Filterwirksamkeiten der oben beschriebenen Filtertypen gemeinsam in Abb.20 dargestellt.

Als vorläufige Bemessungsgrundlage für die Filterstabilität wird empfohlen, nur solche Kunststoff-Filter zu verwenden, deren Bodendurchgangswerte nach dem beschriebenen Untersuchungsverfahren unter 25 g liegt. Ein Durchgang von 25 g entspricht zwar nur einer gleichmäßigen Schichterosion von 1/2 mm; aber die Forderung nach Langzeitbeständigkeit sowie Schwankungen in der Korngrößenverteilung des Bauuntergrundes und die Möglichkeit wesentlich höherer turbulenter Belastung der Filterschicht lassen es zunächst als empfehlenswert erscheinen, diesen Richtwert einzuhalten.

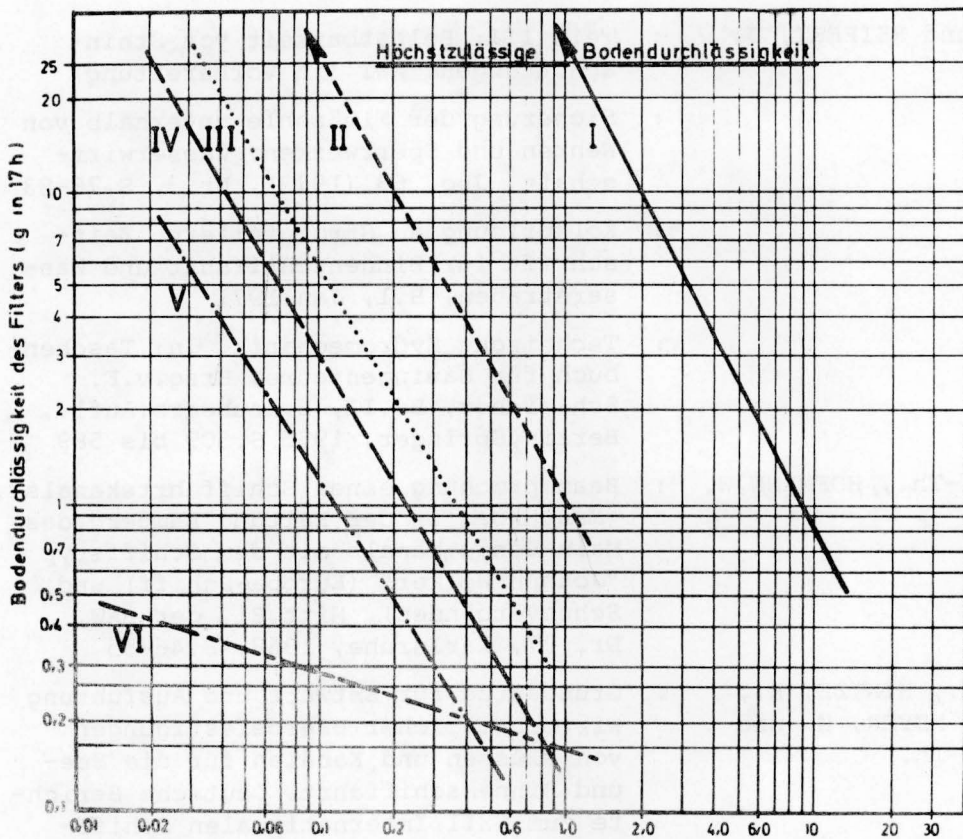




Filterwirksamkeit der in 4.6 beschriebenen Kunststoff-Filter



Filterwirksamkeit der in 4.6 beschriebenen Kunststoff-Filter



Firmenprodukte

- I Nicolon 66 382 E
- II Nicolon 66 424
- III Hoechst 500
- IV Terrafix 1000 N
- V Breuer Sy500F
- VI Ripken P 1300

Abb. 20 Filterstabilität in Abhängigkeit von  $D_{50}$  des Bodens

Sobald mehr Erfahrungen vorliegen, kann diese Forderung entsprechend vermindert werden.

### Zusammenstellung der Mindest-Forderungen

- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1. Naß-Reißkraft:         | längs 70 kp, quer 50 kp             |
| 2. Naß-Reißdehnung:       | längs ~ 20 %, quer < 45 %           |
| 3. Abriebfestigkeit:      | nach 80.000 U mindestens Note 3     |
| 4. Durchschlagfestigkeit: | nach 5 m · kp mindestens Note 3     |
| 5. Wasserdurchlässigkeit: | mindestens 5 ml/s · cm <sup>2</sup> |
| 6. Bodendurchlässigkeit:  | höchstens 25 g in 17 Std.           |

### 5. Schrifttum

- |  |   |  |
|--|---|--|
| [1] BLAU, E.   | : | Die Verteilung der Wandschubspannung in offenen Gerinnen. WWT, 22.Jhg.(1972), H.7, S.236 bis 240   |
| [2] MÜLLER, G. und REIFERT, J.   | : | Ausführungen über die Erosionsbeständigkeit von Lockergesteinen in Wasserlaufbetten. Teil I: Bemessungsverfahren und deren Bewertung. WWT, 23.Jhg. (1973), H.3, S.90 bis 93  |
| [3] MÜLLER, G. und REIFERT, J.   | : | Teil II: Berechnungsformeln, Grafiken und Normenwerte. WWT, 23. Jhg. (1973) H.4, S.137 bis 143   |
| [4] MÜLLER, G. und REIFERT, J.   | : | Teil III: Belastbarkeit von Steinschüttungen. WWT (in Vorbereitung)  |
| [5] DIETZ, J.W.  | : | Sicherung der Flußsohle unterhalb von Wehren und Sperrwerken. Wasserwirtschaft, Jhg. 63 (1973), Nr.3, S.76-83  |
| [6] DIETZ, J.W.  | : | Kolkbildung an Strompfeilern. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, H.1, Jan.1971   |
| [7] BÖSS, P.   | : | Technische Hydromechanik. In: Taschenbuch für Bauingenieure, Hrsg.v.F. Schleicher, Bd.II, 2.neubearb.Aufl., Berlin, Springer, 1955 S.509 bis 589   |
| [8] SCHRÖDER, H.-Th., HOFMANN, W.  | : | Beanspruchung eines Schiffahrtskanals (Messungen in der Haltung Bamberg des Main-Donau-Kanals mit dem Schiffstyp "Johann Welker" (Europa-Schiff) und Schubverbänden). Mitt.Bl. der BAW, Nr. 27, Karlsruhe, 1968, S.46-55   |
| [9] FEUERHAKE, K., HINTZE, R., HOFMANN, W., MEYER, H. und SCHRÖDER, H.-Th. | : | Grundsätze für Entwurf und Ausführung wirtschaftlicher Uferbefestigungen von Flüssen und Kanälen für die See- und Binnenschifffahrt. Deutsche Berichte zum XXII.Internationalen Schiffahrtkongreß Paris 1969, Bundesministerium f.Verkehr, Bonn, 1969, S.145-176 |

- [10] KUHN, R. : Dichtung und Deckwerk von Binnenschiff-  
fahrtskanälen. Der Bauingenieur 44  
(1969), S.322 bis 336
- [11] KUHN, R. : Erprobung von Deckwerken durch Schiff-  
fahrtsversuche. Die Wasserwirtschaft  
61 (1971) Nr.3, S.72 bis 77
- [12] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU : Bericht: Ausführungsformen von Ufer-  
schutzdeckwerken an Binnenschifffahrts-  
kanälen und ihre Langzeitbeständigkeit  
(unveröffentl. Bericht A 133)  
Teil I: Versuchsaufbau und Modellmaß-  
stab. 53 S., 7 Anl., Karlsruhe 1972
- [13] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU : Teil II: Langzeitbeständigkeit von  
partiell durchlässigen Asphaltbeton-  
deckwerken. 39 S., 26 Anl., Khe, 1972
- [14] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU : Teil III: Langzeitbeständigkeit asphalt-  
vergossener Schüttsteindecken. 41 S.,  
20 Anl., Karlsruhe, 1973
- [15] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU : Teil IV: Langzeitbeständigkeit von Fil-  
terschichten unter losen Schüttstein-  
deckwerken. 56 S., 65 Anl., Khe, 1973
- [16] MEYER, H. : Einbau durchlässiger Böschungsbefesti-  
gungen in Schifffahrtskanälen unter Was-  
ser bei laufendem Verkehr - Probleme  
und Lösungen. Zeitschrift für Binnen-  
schiffahrt und Wasserstraßen, 99. Jhg.,  
(1972), H.4, S.137 bis 142
- [17] MUHS, H. : Die Prüfung des Baugrundes und der Bö-  
den. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen,  
Heidelberg, 1957
- [18] : Deckwerke an Wasserstraßen. Ausarbei-  
tung des Dt. Ausschusses f.das Studium  
v.Uferdeckwerkstypen an Wasserstraßen im  
Internat. Ständ. Verband f.Schiffahrts-  
kongresse, aufgestellt im Dezember 1972.

