

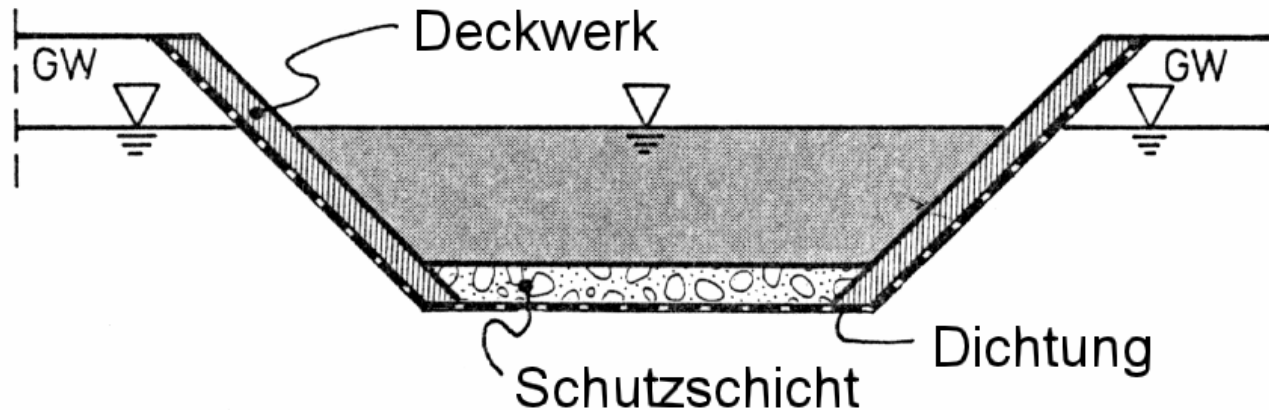


DICHTUNGEN UND DECKWERKE

1. Allgemeines
2. Dichtungen
3. Deckwerke
 - 3.1 Sicherheit gegen Gleiten
 - 3.2 Dichte Deckwerke
 - 3.3 Durchlässige Deckwerke
 - 3.4 Hohldeckwerke
4. Beispiele ausgeführter Bauwerke mit Dichtungen und Deckwerken

1. Allgemeines

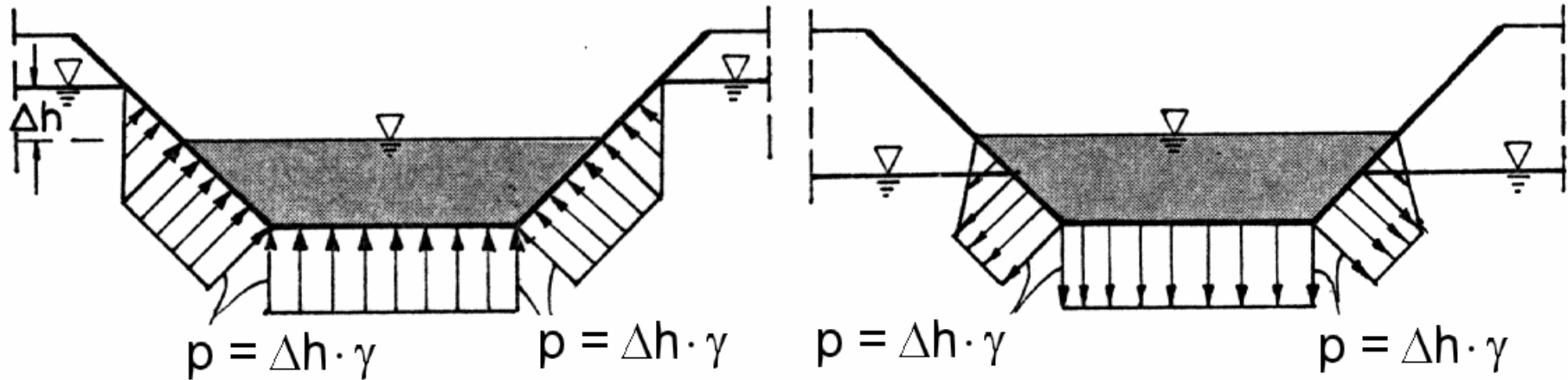
Dichtungen haben die Aufgabe, den Kanalwasserspiegel unabhängig vom Grundwasserspiegel zu halten. Sie müssen durch eine Schutzschicht gegen Beschädigungen geschützt werden. Auf den Böschungen müssen *Deckwerke* - besonders auf der Höhe des Kanalwasserspiegels - zusätzlich die Böschungen gegen *Wellenschlag*, *Wellensunk* und *Eiseinwirkungen* schützen.



Definitionen: Deckwerk, Dichtung, Schutzschicht.

2. Dichtungen

Die Hauptbelastung resultiert aus den hydrostatischen Druckspannungen infolge der Druckhöhendifferenz Δh zwischen Grundwasser- und Kanalwasserspiegel:



Bereits ein Druckhöhenunterschied von $\Delta h = 1\text{m}$ erzeugt eine Druckspannung von 10kN/m^2 . Diese muss bei Auftrieb (Grundwasserspiegel höher als der Wasserspiegel im Kanal) durch das Eigengewicht von Dichtung und Schutzschicht aufgenommen werden.



Es ist besser, den Kanalwasserspiegel etwas über dem Grundwasserspiegel zu halten als umgekehrt.

Besonders zu beachten sind die an den Böschungen plötzlich auftretenden Auftriebskräfte durch *Wellensunk* bei passierenden Schiffen.

Bei Versuchen am Rhein-Main-Donau-Kanal mit dem Europaschiff (1350 t) wurden gemessen:

beladen bei 11,5 km/Std.: $\Delta h = 0,6 \text{ m}$

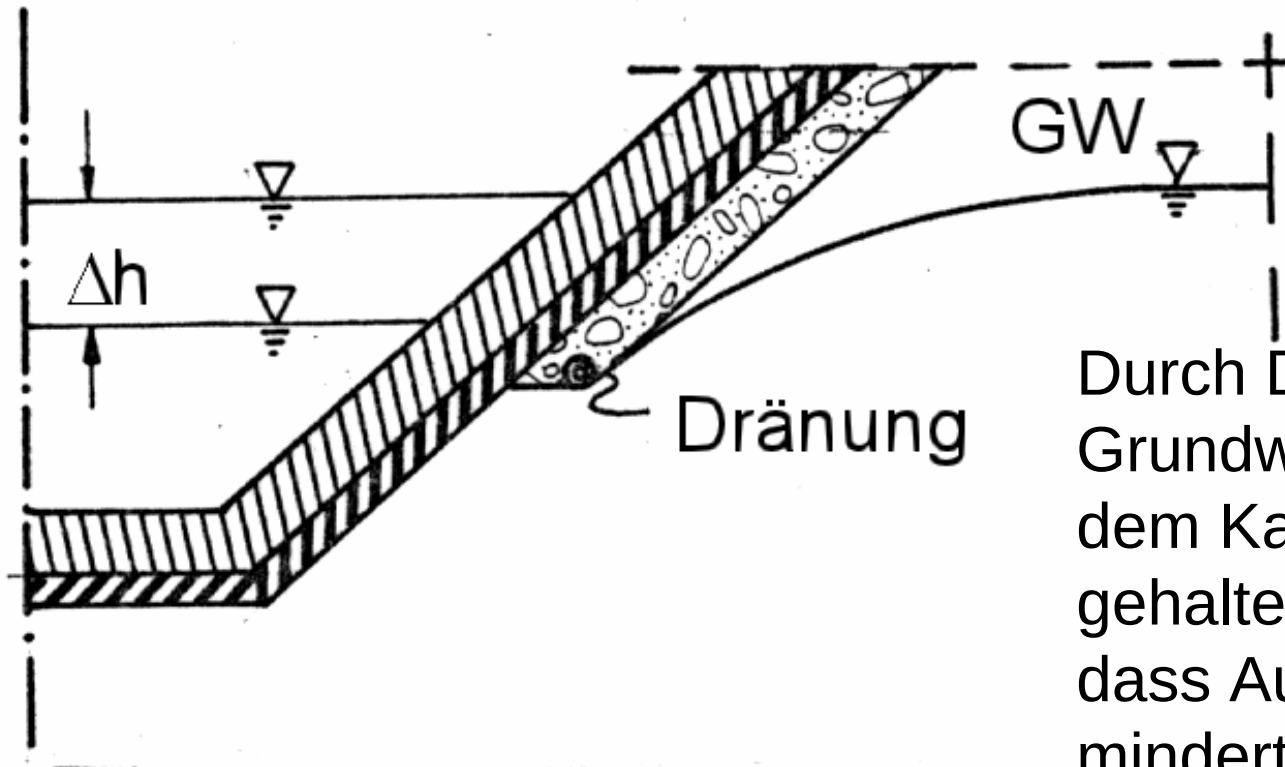
leer bei 15 km/Std.: $\Delta h = 0,7 \text{ m}$

mit Absenkgeschwindigkeiten bis 0,07 m/s.

Beim Nord-Ostsee-Kanal noch höhere Werte.

Bei Seeschifffahrtsstraßen können größere Auftriebswerte auch infolge von brechenden *Schwerewellen* auftreten.

Wenn auf Höhe des Kanalwasserspiegels kein *durchlässiges* Deckwerk möglich ist, kann Abhilfe durch *Dränung* geschaffen werden:



Durch Dränung wird der Grundwasserspiegel unter dem Kanalwasserspiegel gehalten mit der Folge, dass Auftriebskräfte vermindert werden.

Die Dränung kann bis zum Böschungsfuß geführt werden.
(Derartige Dränung auch bei Spundwänden sinnvoll.)



Dichtung und Schutzschicht:

Die Dichtung hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

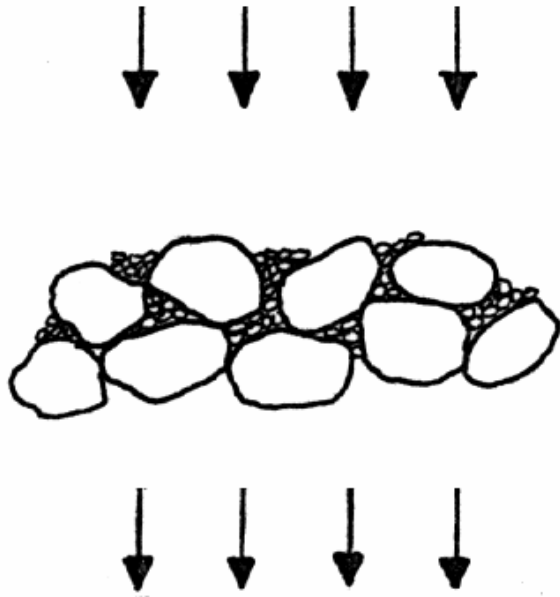
- Schutz vor Vernässungsschäden
- Verminderung von Betriebswasserverlusten
- Schutz vor Grundwasserverunreinigungen bei schadstoffhaltigem Wasser in der Kanalhaltung

Die Schutzschicht hat die folgenden Funktionen:

- Sie soll die eigentliche Dichtung gegen Erosion aus schiffserzeugten Strömungen und gegen die Schraubenstrahl-turbulenzen schützen,
- Sie soll als statische Auflast gegen Auftrieb wirken und
- Ankerbeschädigungen verhindern (größte Furchtiefe 0,6 - 0,7m).

Notankerungsversuche: Ein Anker mit einer Masse von 1,1 t grub sich bis 0,6m in eine Schutzschicht aus *Sand* ein.

Bei Dichtungen mit natürlichen Baustoffen (Filteraufbau):



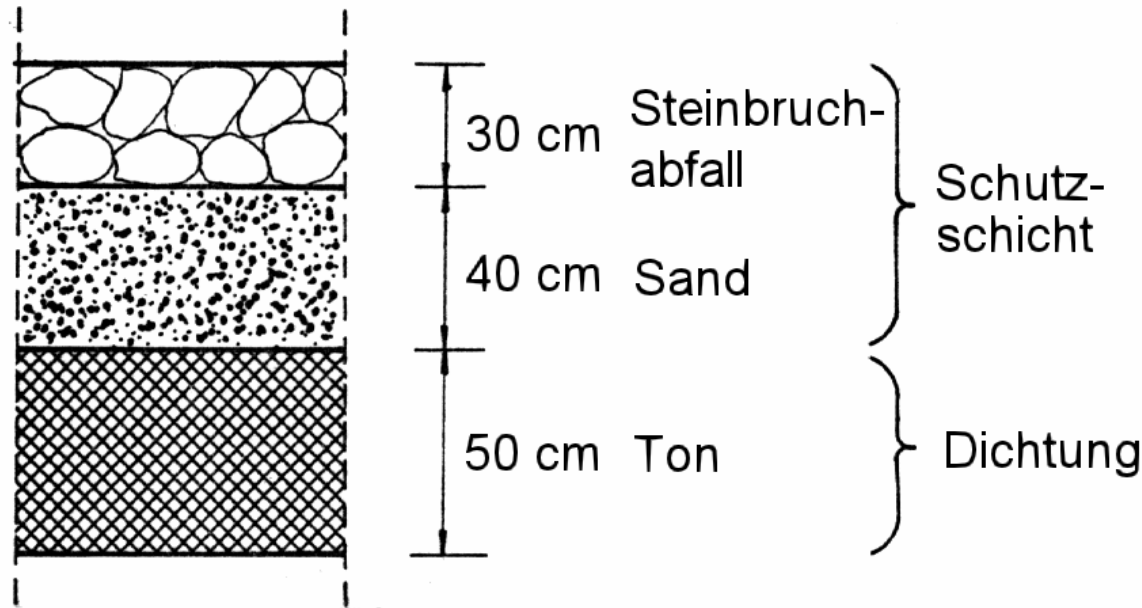
Bei stetiger Durchströmung von oben nach unten tritt ein Selbstdichtungseffekt auf.

Kleinere Körner verkeilen sich bei der stetigen Durchströmung von oben nach unten zwischen den größeren und verkleinern die Porenkanalquerschnitte. Auch kolloidale und biologische Einflüsse sind wirksam.

Beispiel Hohenzollernkanal: In 5 Jahren verringerte sich die Versickerung infolge des Selbstdichtungseffektes von 90 l/s·km auf 5 l/s·km.

Aus Gründen der Gewährleistung wird der Nachweis der Dichtungswirkung aber meistens bereits bei der Abnahme verlangt (?).

Dichtungen aus natürlichen Baustoffen (Ton, Lehm):



Beispiel Main-Donau-Kanal: Einbau im *Trockenen*
 (Berechnung der Stärke der Dichtungsschicht Δs
 (hier Ton, $\Delta s = 50 \text{ cm}$) vgl. "Wasserhaushalt von Kanalhaltungen").
 Der Einbau von Tondichtungen ist wetterempfindlich !
 Der Trockeneinbau erfolgt oft *in Lagen von 20 cm*, die auf je etwa
 15 cm zusammengewalzt werden.

Beispiele Wesel-Datteln-Kanal:

Einbau unter Wasser; Tiefe bis 5m.

Schüttsteine $d = 15 - 25\text{cm}$

Mineral. Filter $d = 2 - 60\text{mm}$

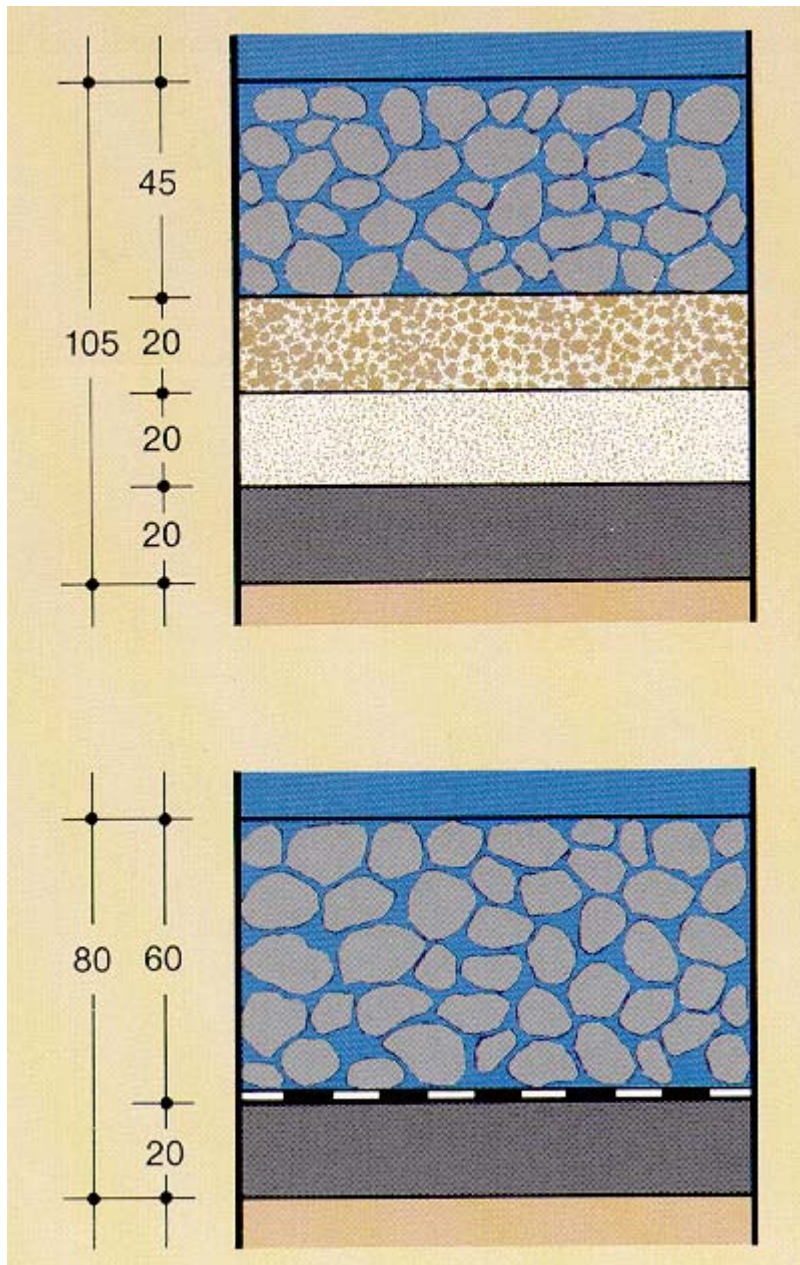
$d = 0 - 2\text{mm}$

Tondichtung einlagig

Schüttsteine $d = 15 - 25\text{cm}$

Geotextiler Filter

Tondichtung einlagig





Durchlässigkeitswerte bei Versuchen am Dortmund-Ems-Kanal:

Trockeneinbau: $k_f = 10^{-8} \text{ m/s}$

Nasseinbau: $k_f = 10^{-7} \text{ m/s}$

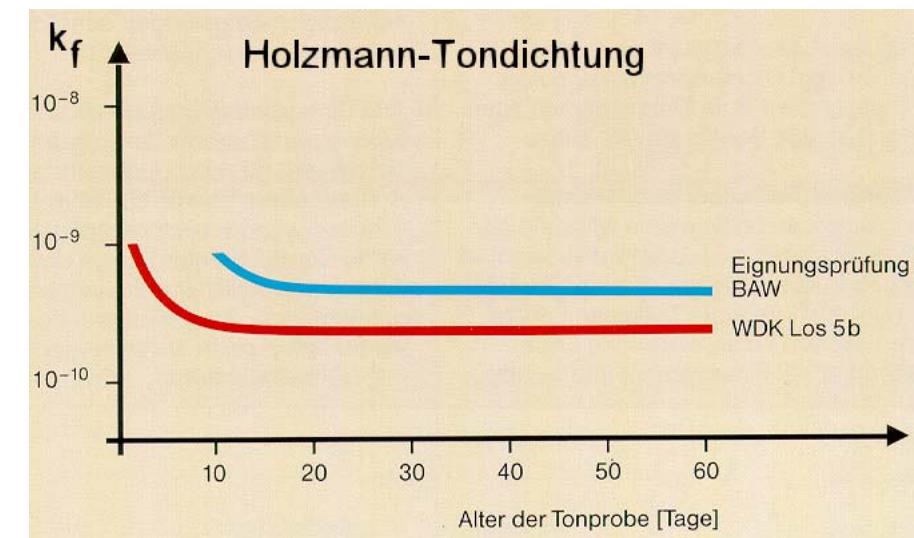
Im Labor ermittelte k_f -Werte meist besser als tatsächlich beim Einbau erreichbar (!).

Versuche am Main-Donau-Kanal bei Bamberg:

Labor: $k_f = 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

Beim Einbau erreicht: $k_f = 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

Am Wesel-Datteln-Kanal:



Holzmann-Tondichtung für den Unterwasser-Einbau:
Durch maschinelle Intensivbehandlung von Naturton mit bis zu 2% Additiven (hydraul. Bindemittel und Erosionsstabilisator) wird formstabiler Einbau gewährleistet.

Versuchsapparatur vergl. Stauanlagenbau.

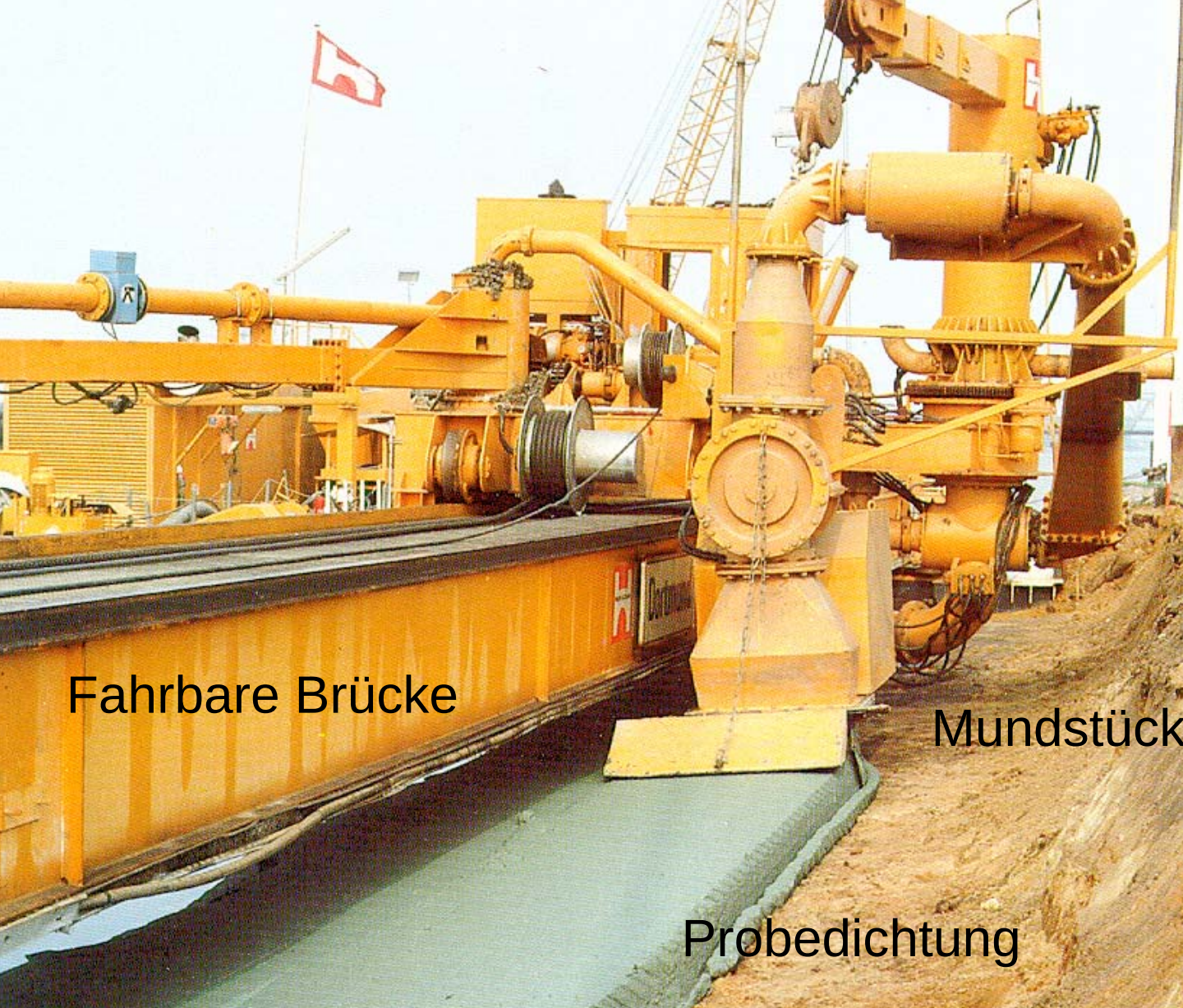


Ton-
Auf-
berei-
tungs-
schiff

Mundstück

Ton- Ver-
legeschiff

Unter Wasser Einbau der Holzmann-Tondichtung am WDK



Fahrbare Brücke

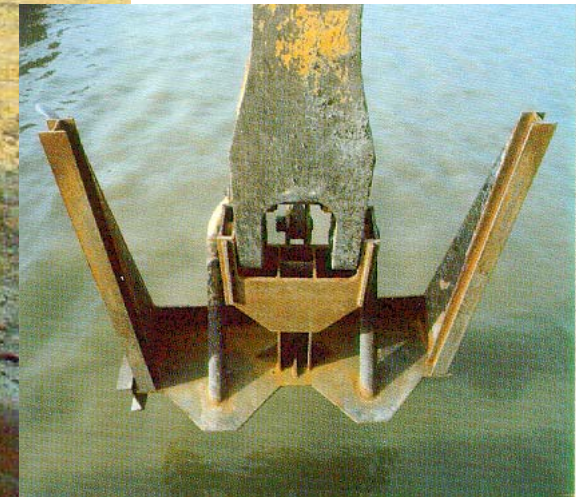
Mundstück

Probedichtung

Holzmann-Tondichtung



Verpressein-
richtung an
Uferspund-
wänden.



Holzmann-Tondichtung

© Büsching, F.: Verkehrswasserbau

2000/07.13



Hydratondichtungen als Ersatz für Ton, wenn kein abbauwürdiges Vorkommen vorhanden ist: Mischung aus Ton oder Tonmehl, Sand oder Schluff unter Zusatz von Chemikalien wie Wasserglas, Zement o.ä.; die optimale Mischung wird in Laborversuchen bestimmt.

Vorteile:

Geringere Schichtstärke, bessere Homogenität, der Einbau ist auch bei Schlechtwetter möglich. Untersuchungen am Main-Donau-Kanal:

20 cm Hydraton anstatt 50 cm Ton
mit einem

Sickerverlust zu Anfang: 7 l/s·km

Sickerverlust nach 3 Jahren: 3 l/s·km.



Künstliche Dichtungen

aus Beton, Asphaltbeton oder Folien

Gemeinsam: Material absolut dicht, Undichtigkeiten aber durch Beschädigungen und an den Fugen.

Beton

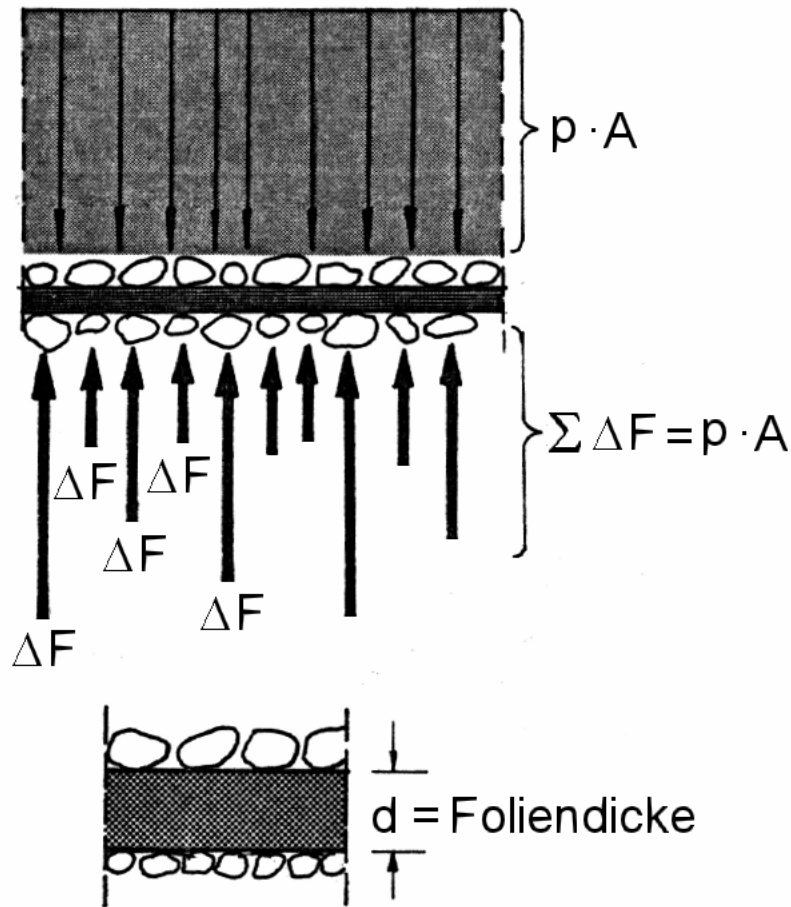
sehr setzungsempfindlich.

Ort- oder Spannbetonplatten 3 bis 5 cm stark.

Asphaltbeton flexibler als Beton. Wird in 1 bis 2 Lagen meist als Feinbeton (0 bis 12 mm) eingebracht, Hohlraumgehalt soll unter 3 % liegen. Mischung nach den EMPFEHLUNGEN DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU. Bei Einsatz stetig fortschreitender Fertiger entsteht keine Fuge. Auch Unterwassereinbau möglich.

Folien

auf Kunststoff- oder Kautschukbasis. Sehr empfindlich gegen Beschädigungen (Nagetiere!).



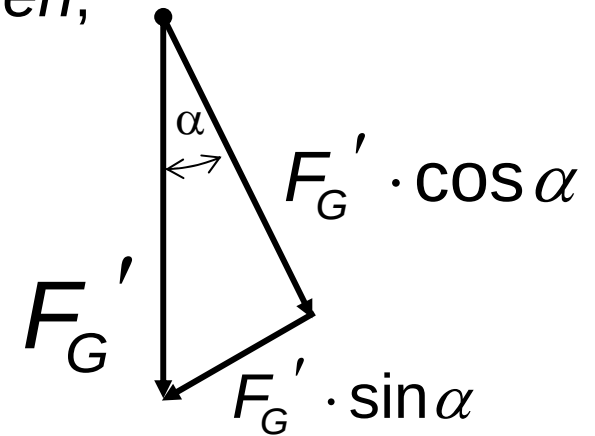
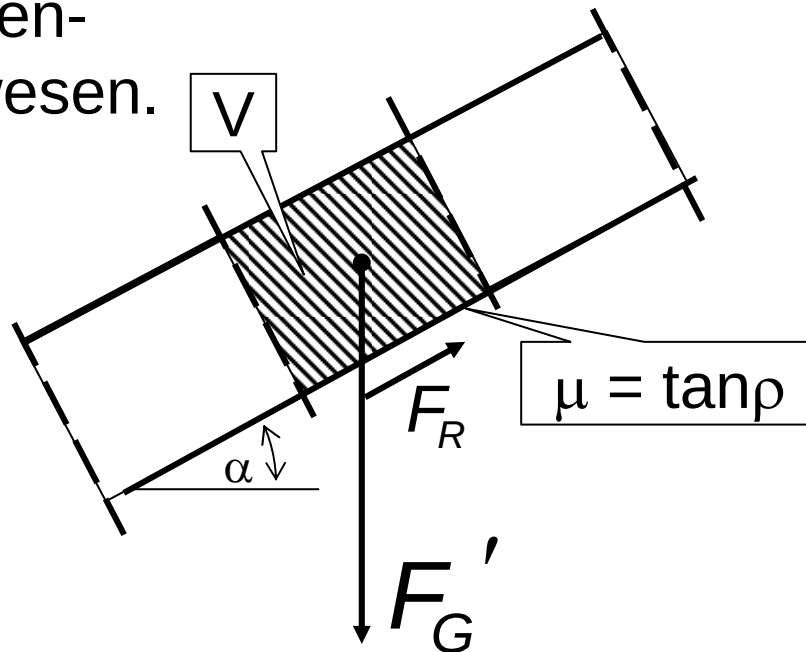
Bei Wasserdruck auf eine Folie wird die auf die Oberfläche wirkende Druckspannung p als Flächenbelastung durch Einzelkräfte ΔF auf der Folienunterseite aufgenommen. Die Korngrößen der Unterschicht müssen daher *wesentlich kleiner* als die Foliendicke d sein.

Foliendichtungen dürfen niemals ins "Flattern" geraten ("Pumpwirkung").

3. Deckwerke

3.1 Sicherheit gegen Gleiten

Hier: hydrodynamischer Auftrieb unberücksichtigt. *Muss bei Wellenbelastung zusätzlich angesetzt werden*, vergl. Küsteningenieurwesen.



$$F'_G = V \cdot g \cdot (\rho_F - \rho_W)$$

$$F_R = F'_G \cdot \cos \alpha \cdot \tan \rho$$

$$F_R > F'_G \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow \tan \rho > \tan \alpha$$

Der Reibwinkel unter Wasser muss in allen möglichen Gleitfugen größer als der Böschungswinkel sein.



Trapezprofil:

Bei Böschungen $1:m = 1:3$ ist meist Gleitsicherheit gegeben. Zusätzliche Sicherheit kann durch Stützung am Böschungsfuß (ggf. durch Anordnung einer Kurz-Spundwand) erreicht werden, vergl. 06.26.

3. 2 Dichte Deckwerke

Aus Betonplatten, Asphaltbeton oder mit Foliendichtung, wenn Kanalwasserstand ständig über dem Grundwasserstand. Hydrostatische Beanspruchung siehe Abschnitt 2, Ausführungen Abschnitt 4.

3. 3 Durchlässige Deckwerke

Durchlässige Deckwerke sollen *Auftrieb* durch Entweichen des Porenwassers aus dem Untergrund (auch bei schnell verlaufenden Wasserspiegelabsenkungen wie beim Schiffssunk) *verhindern*.

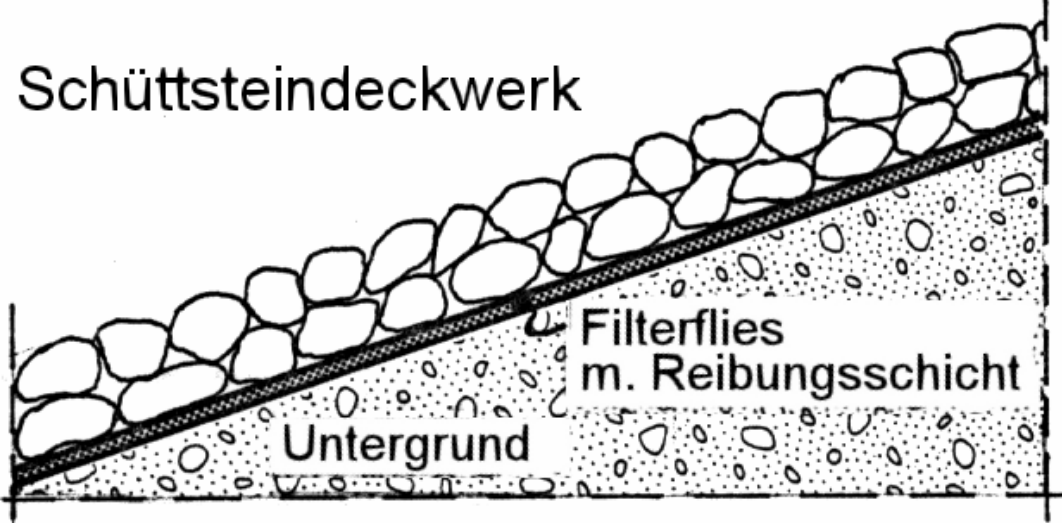
Ausführungen heute meist als

- Schüttsteindeckwerk auf Filtervlies (Kunststoff)
- Schütt- oder Setzsteindeckwerke mit Vergussmasse (Asphalt oder Beton) auf Filtervlies (Kunststoff)
- Betonformsteine (horizontaler und vertikaler Verbund angestrebt) auf Filtervlies (Kunststoff)

Sicherheit gegen Gleiten und Wellenschlag und dadurch bedingte Ausspülungen des Untergrundes sowie Flexibilität sollen erreicht werden.

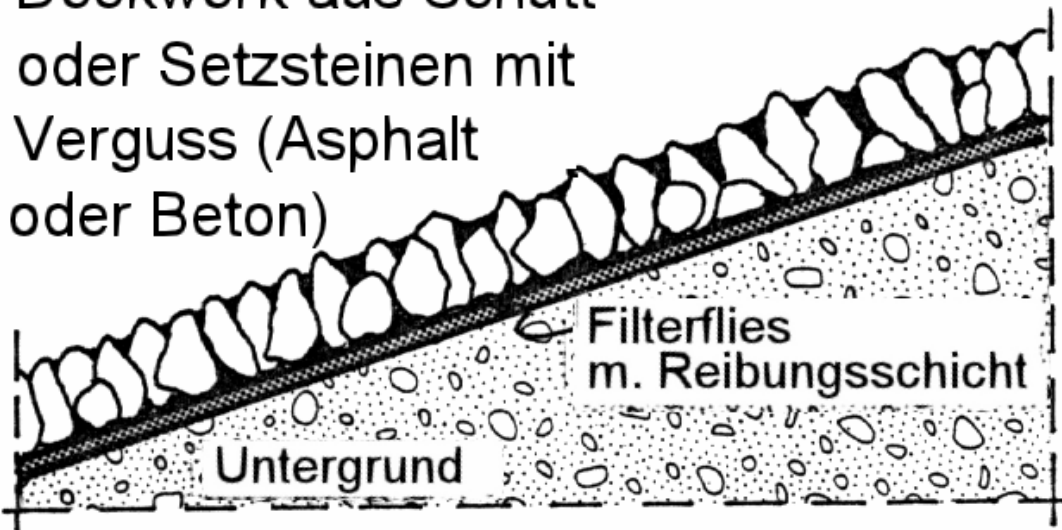


Schüttsteindeckwerk



Vertikalschnitt

Deckwerk aus Schütt-
oder Setzsteinen mit
Verguss (Asphalt
oder Beton)

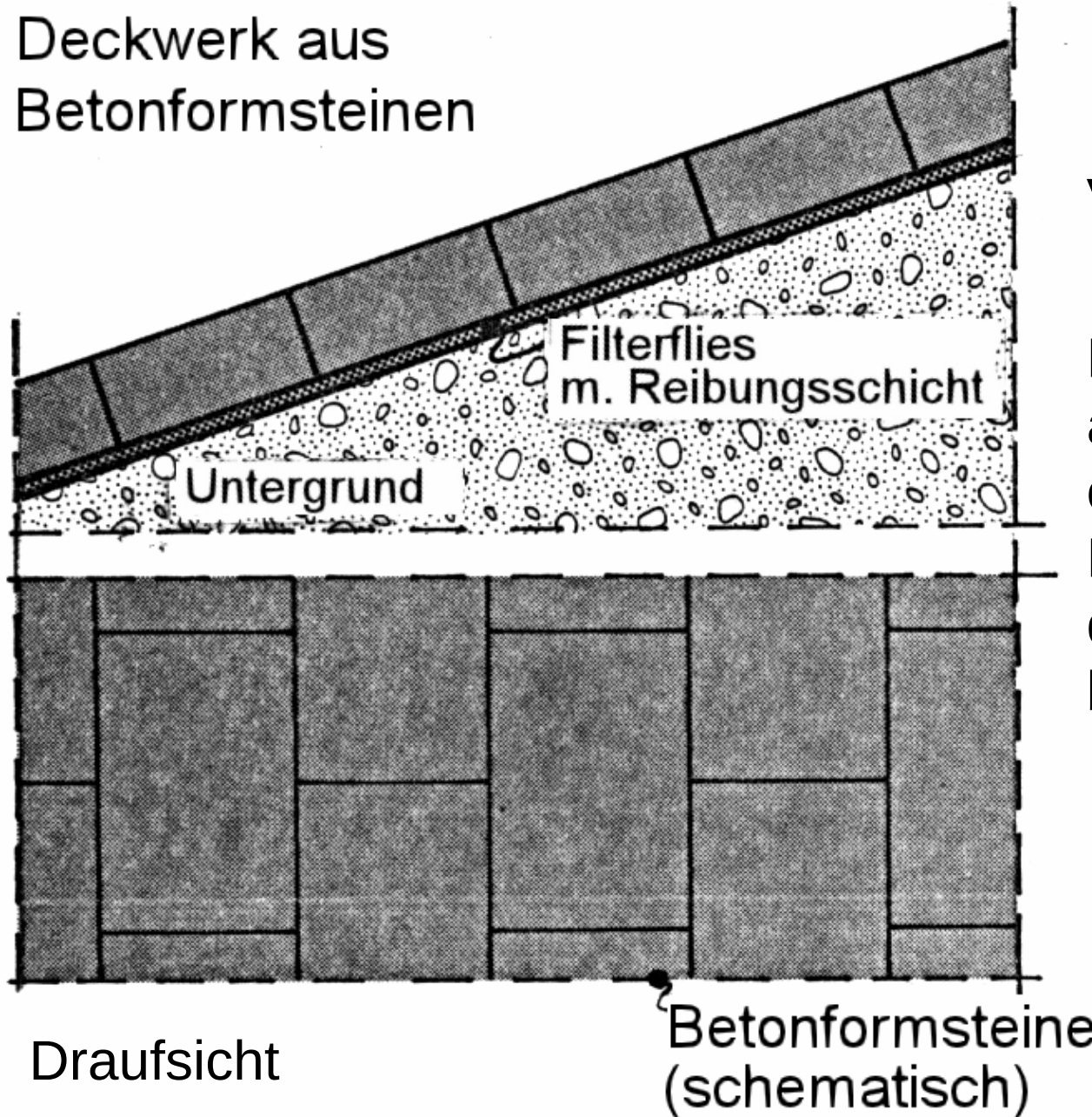


Vertikalschnitt

*Partieller Verguss mit
Entlastungsöffnungen
zur Entspannung des
ggf. auftretenden
Porenwasserüberdruckes.*

Bei Setzungen und Sak-
kungen Gefahr von Rissen.

Deckwerk aus Betonformsteinen



Vertikalschnitt

Die Fugen sollten
als Entlastungs-
öffnungen für den
Porenwasserüber-
druck ausge-
bildet werden.

Auch als Verbund-
pflaster.

Starke Reflexion von
Wellen!

Draufsicht

Betonformsteine
(schematisch)



3. 4 Hohldeckwerke

Bevorzugt an Seewasserstraßen, wo neben der Belastung aus quasihydrostatischen Druckspannungsunterschieden an den Außen- und Innenseiten von Deckschichten die *hydrodynamischen Wellenphänomene* (Reflexion, Wellenauf- und ablauf, Druckschlag) die Hauptbelastung darstellen, vergl. Küsteningenieurwesen.

Sie stellen prinzipiell zweischalige Strukturen dar, die aus etwa böschungsparell angeordneten Hohlformkörpern bestehen.

Diese haben den Zweck, die Wechselwirkungen der durch das Wellenbrechen auf der Böschung induzierten Waschbewegung mit dem Strömungsfeld partiell stehender Wellen an der Böschung zu beeinflussen (Beeinflussung von Koppelschwingungen). Derartige Konfigurationen sind geeignet, die Brecherkinematik signifikant im Sinne geringere Bauwerksbelastungen zu verändern:

Geringere *Brecherhöhen*, geringere *Wellenaufbauhöhen* sowie reduzierte Auftretenswahrscheinlichkeit von *Druckschlägen*.



Je nach Erfordernis können Hohldeckwerke alle Anforderungen, die an durchlässige bzw. dichte Deckwerke gestellt werden, mit-
erfüllen. vergl. 3.3 bzw. 3.2.

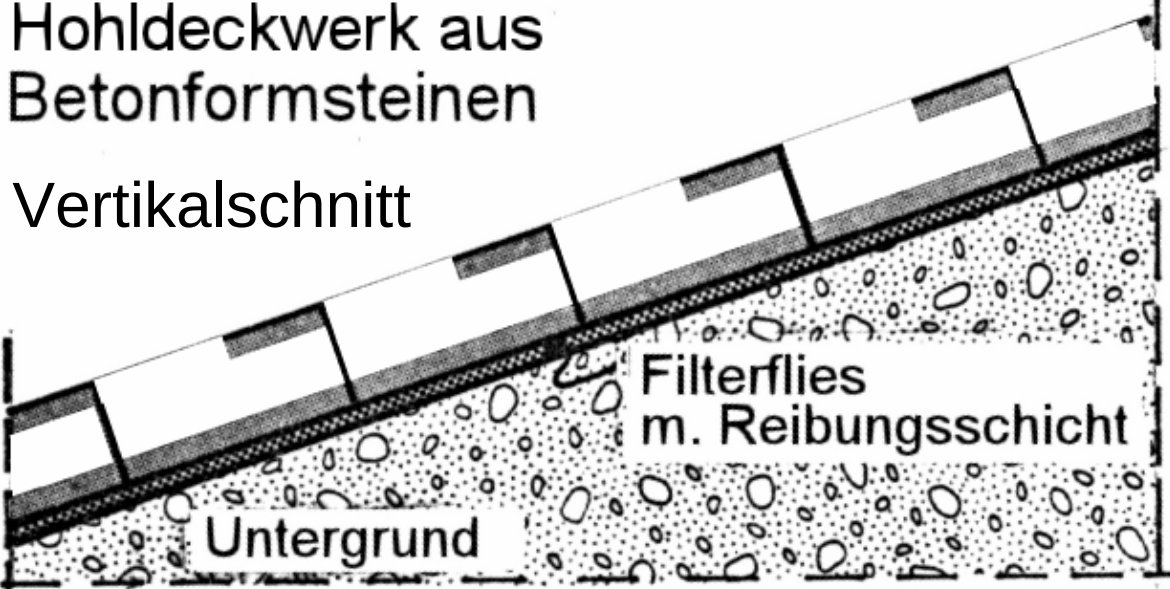
Hohlraumelemente mit hydraulisch günstigem Querschnitt können aus Ortbeton, als Betonfertigteile-, Stahl- oder Verbundkonstruktion - auch unter Verwendung von Kunststoffelementen - hergestellt werden. Bevorzugt bestehen sie aber aus durchströmbaren ggf. auch im Verbund gelegten Betonsteinen oder Formkörpern.

Unterschieden werden im wesentlichen:

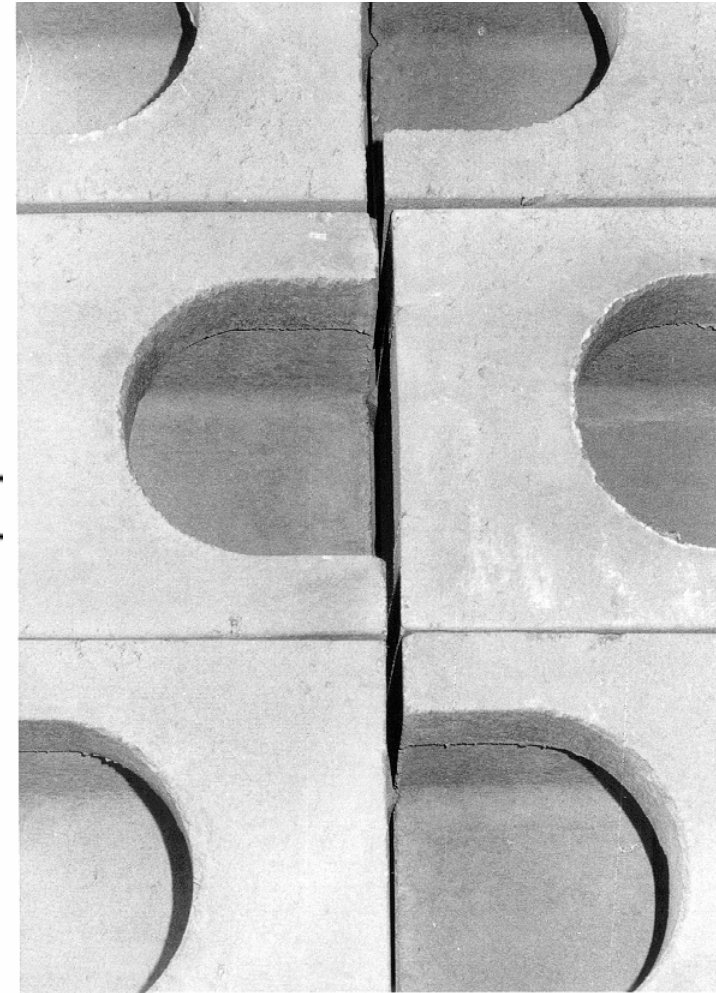
- Hohldeckwerke aus Betonformsteinen in böschungspareller, *einlagiger* Bauweise als oberste Schicht von Böschungsbauwerken und
- Hohldeckwerke aus Betonformkörpern in gestapelter Bauweise (zumindest *zweilagig*) als Elemente wellenbrecherartiger Bauwerke.

Hohldeckwerk aus
Betonformsteinen

Vertikalschnitt



Ein-/Auslauföffnungen



Draufsicht

Böschungparallele Anordnung

Beton-Hohlformkörper
(schematisch)

Entlastungsausnehmungen
an den Fugen

4. Ausgeführte Bauwerke

Hohldeckwerk
Baltrum

Durchströmbares Deckwerk
Schotter
Abbruchmaterial
Filtermatte

NN ~ 1,50 m

NN + 1,19 m MThw

NN ± 0,00 m

NN - 1,22 m MTnw

15,81

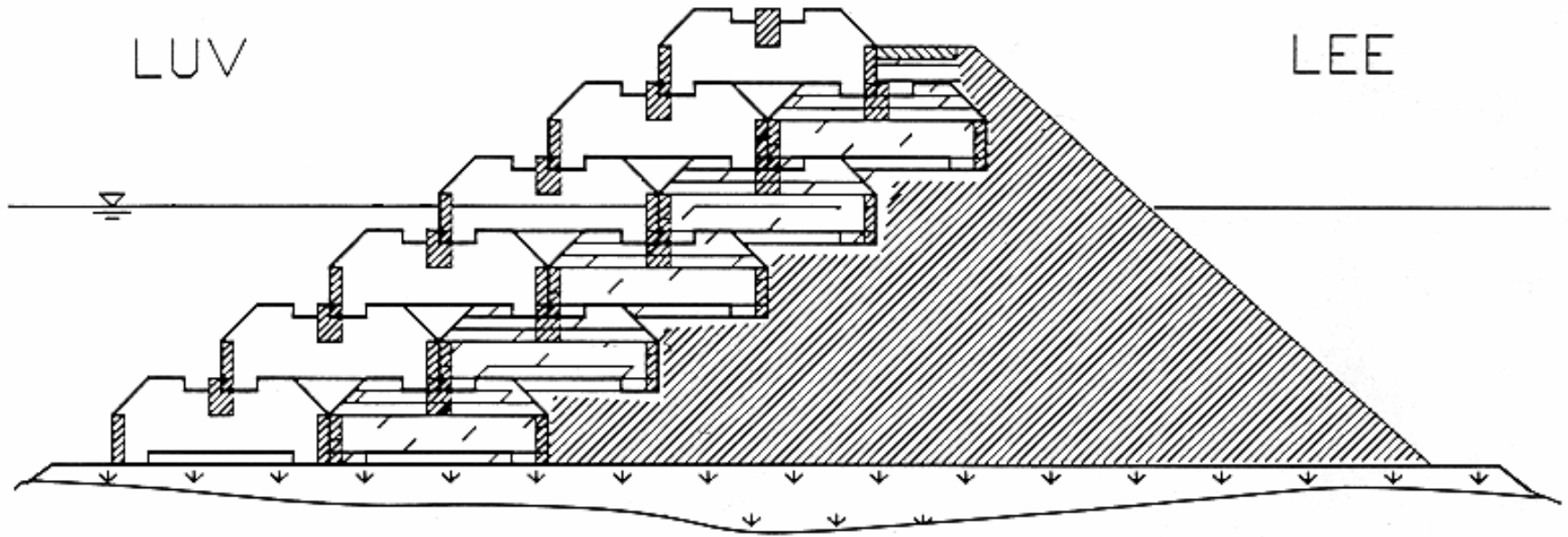
Fußsicherungswand unverankert
Stahlpundwand L 603 E
l = gestaffelt 5,50 m / 6,50 m



Hohldeckwerk an der Hafeneinfahrt Baltrum/Nordsee.

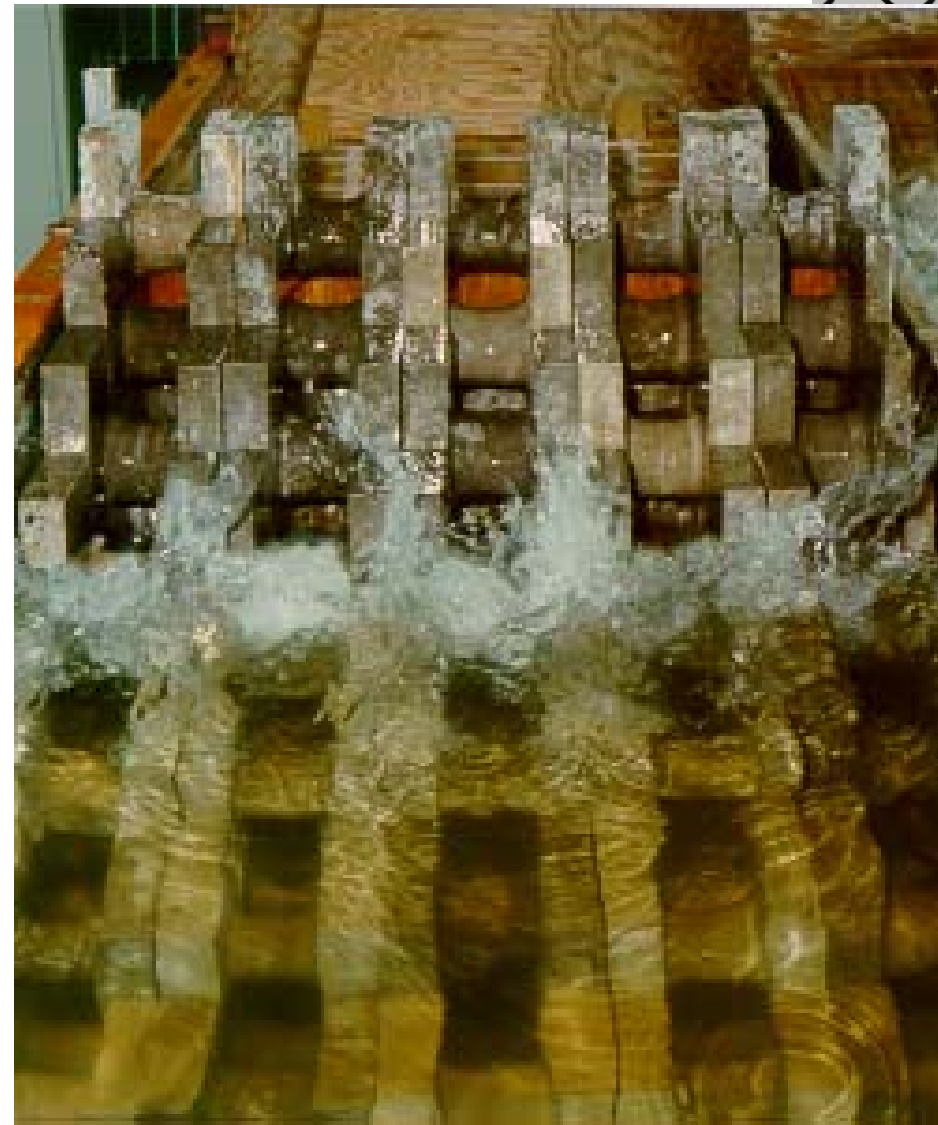
© Büsching, F.: Verkehrswasserbau

2000/07.26



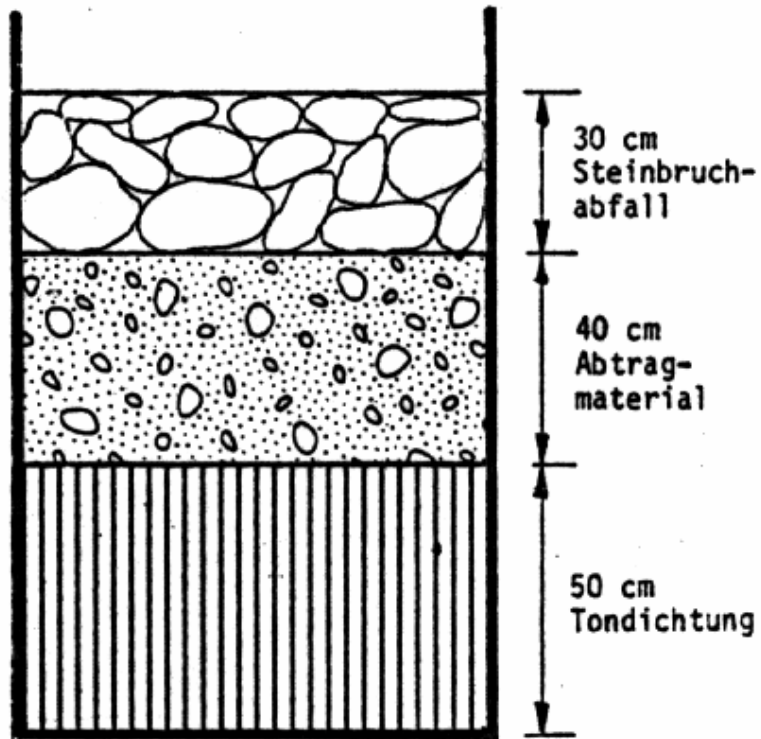
Schweres Hohldeckwerk aus Betonformkörpern in gestapelter Bauweise (schematisch).

Günstig treten zu der *Wechselwirkung zwischen der Waschbewegung und der Teilchenbewegung partiell stehender Wellen* zusätzlich noch Energieverluste beim Einstrom in bzw. beim Ausstrom aus der Böschungsstruktur auf.

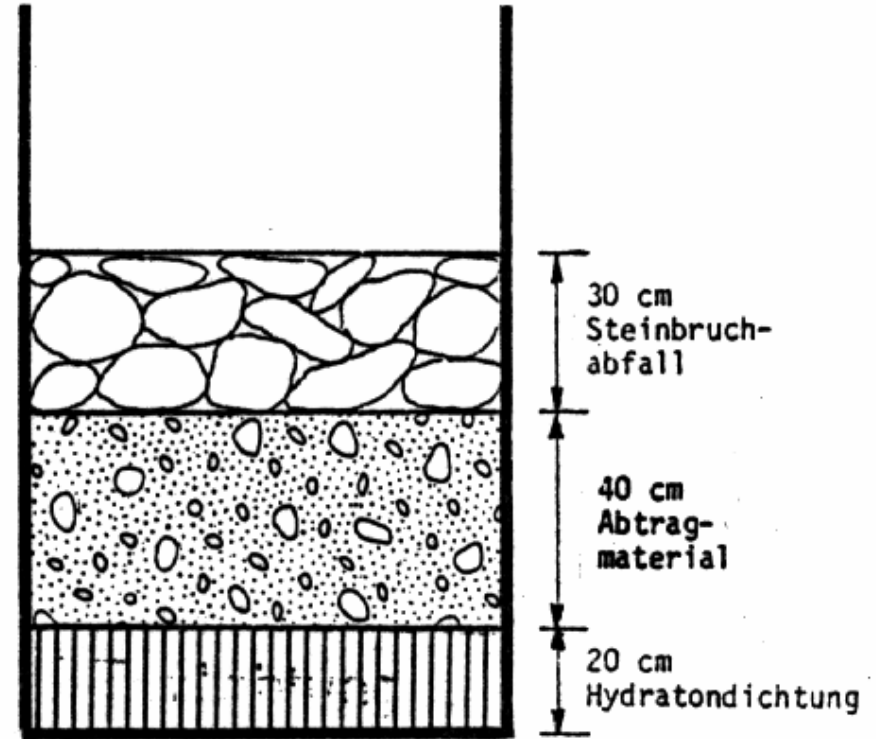


Modellversuche M.1:5 „Hollow Cubes“ (Böschung 1:2 gestapelt).

Sohldichtungen am Main-Donau-Kanal

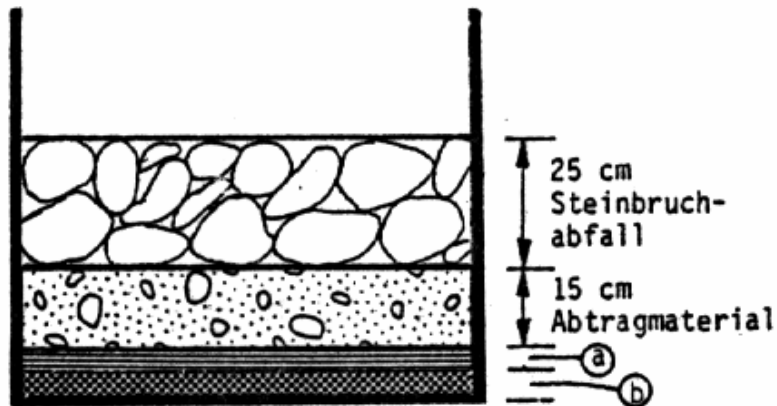


a) Tondichtung



b) Hydratondichtung

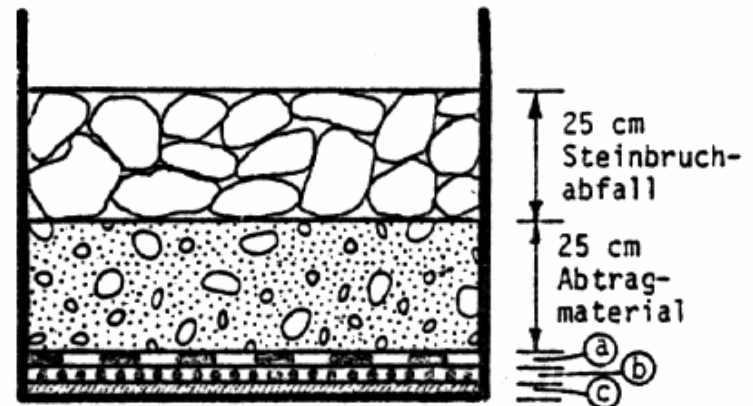
Sohldichtungen am Main-Donau-Kanal



c) Asphaltabdichtung mit Steinschüttung auf der Böschung

Ⓐ 4 cm Asphaltfeinbeton 0/12

Ⓑ 5 cm Asphaltfeinbeton 0/12



d) Asphaltabdichtung mit Asphalt-schutzschicht auf der Böschung

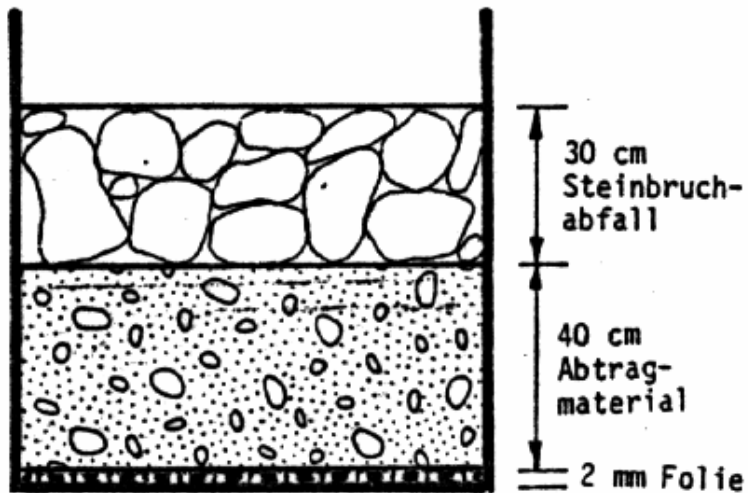
Ⓐ 3 cm Dichtungs- u. Schutzschicht

Ⓑ 3 cm Dichtungsschicht Asphaltfeinbeton 0/8

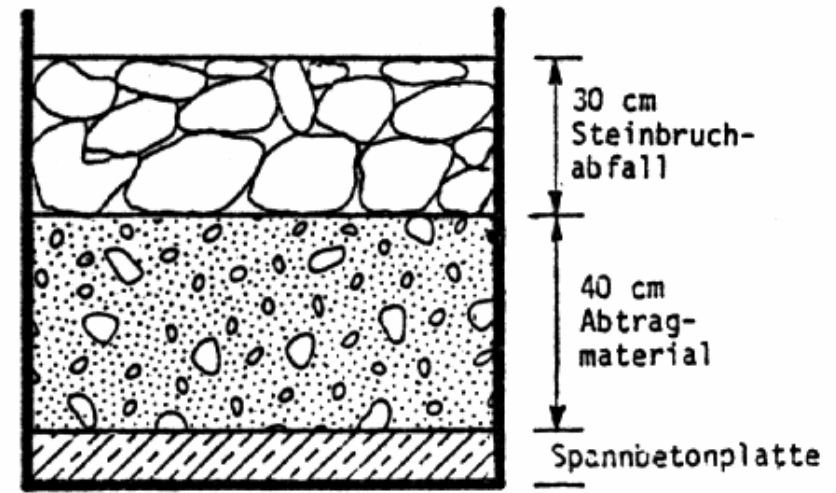
Ⓒ 3 cm Schalungsschicht (Bitumensand)

Die Gesamtstärke der Schutzschichten erscheint nicht ausreichend für den Fall der Notankerung.

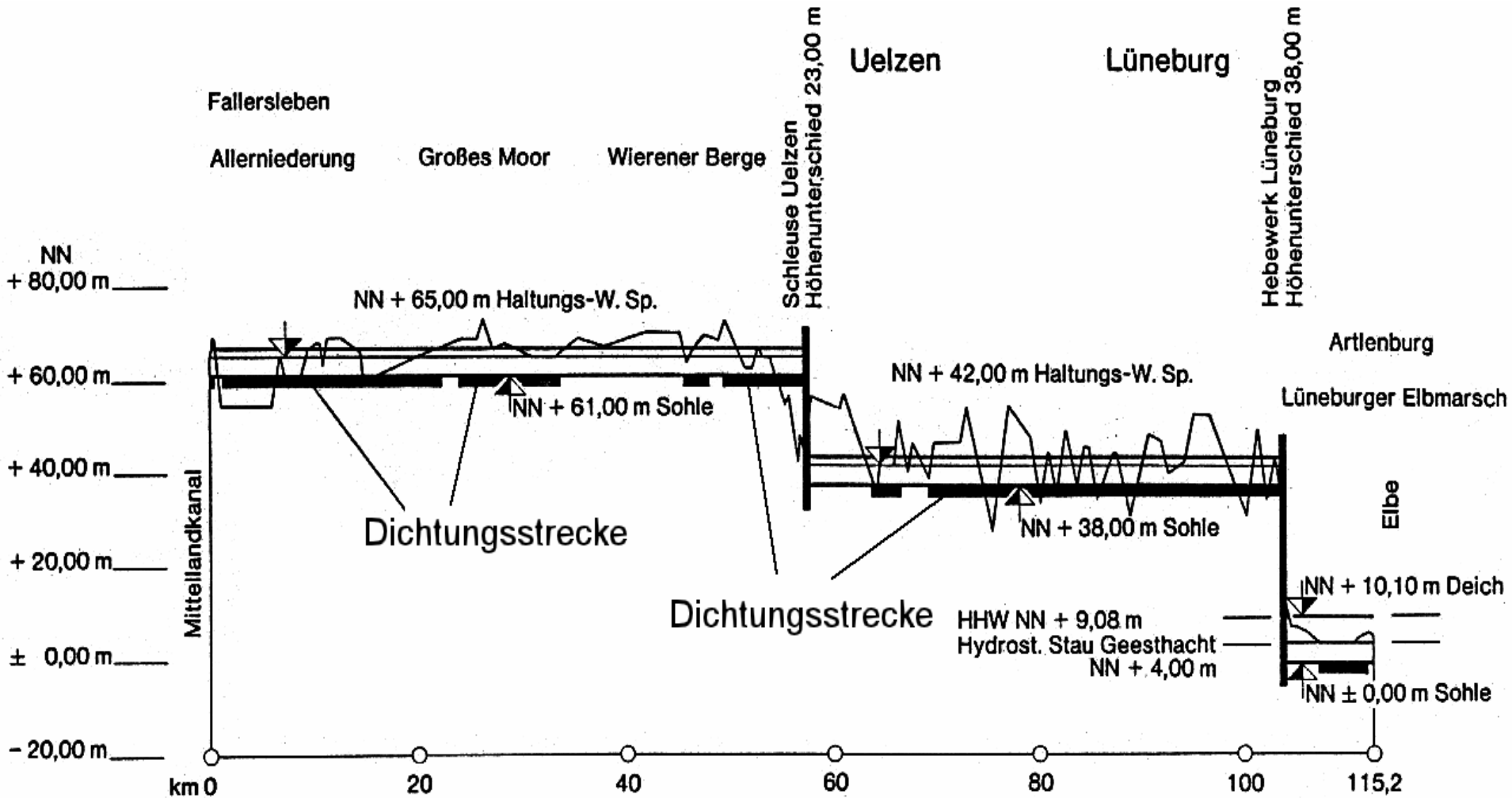
Sohldichtungen am Main-Donau-Kanal



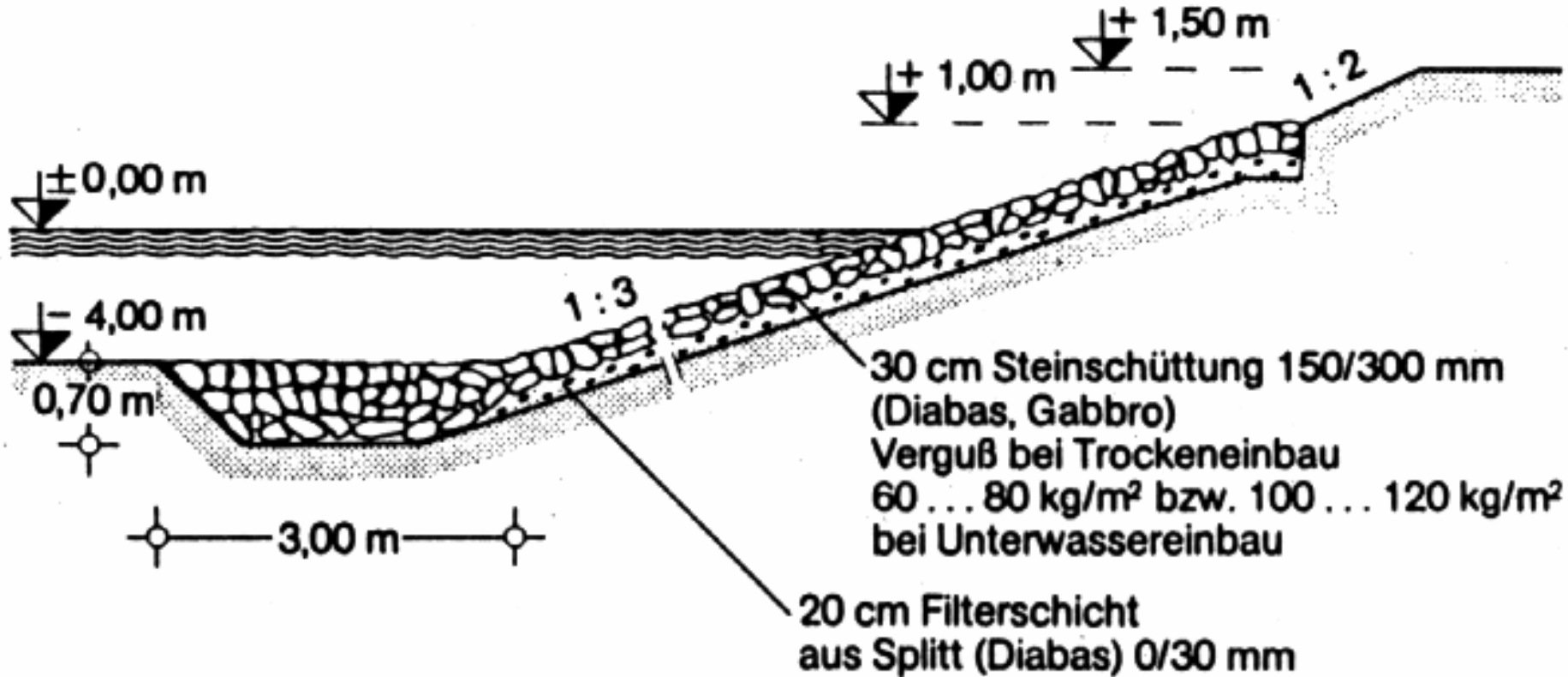
e) Dichtung mit Kunststoffolie



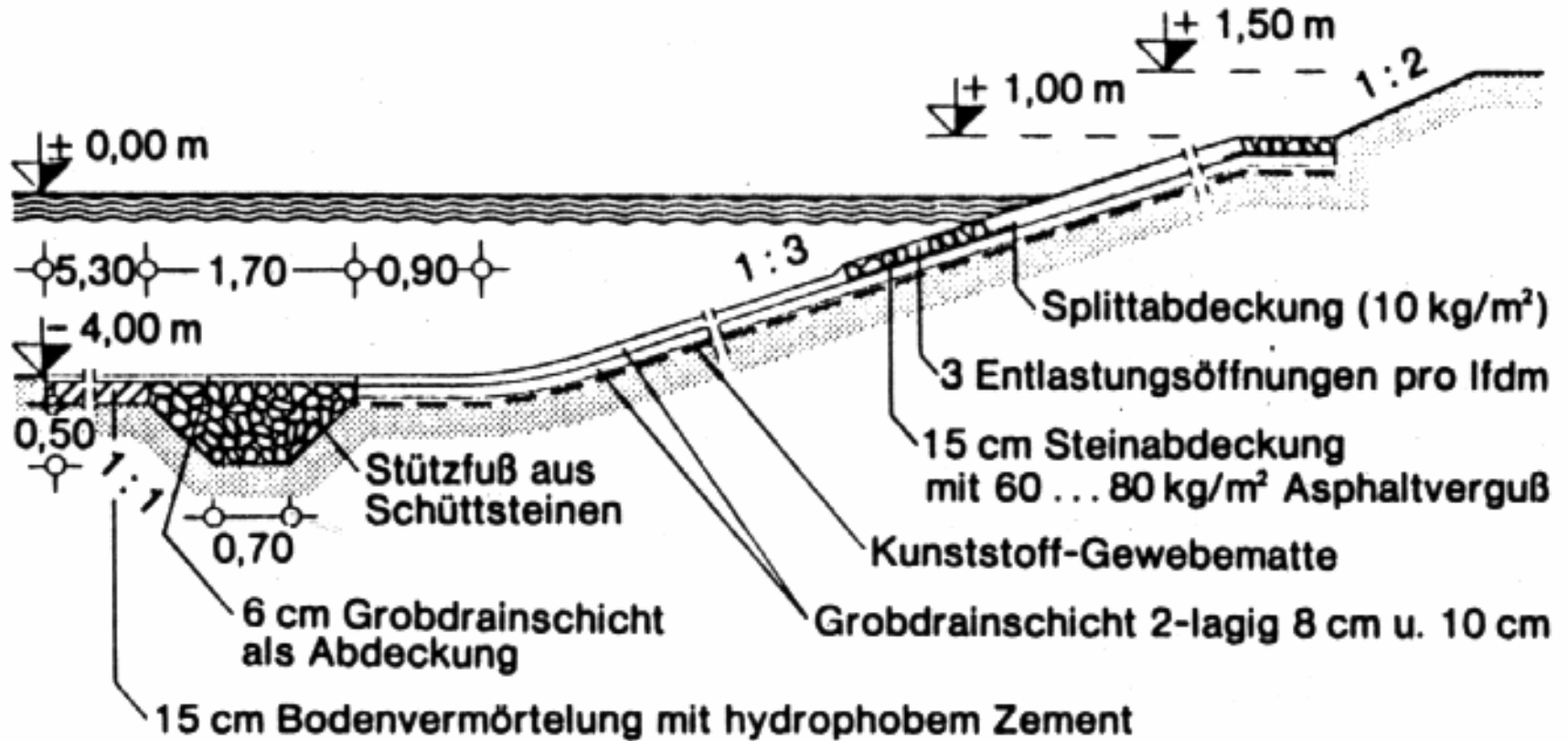
f) Dichtung mit Spannbetonplatten



Längsschnitt Elbe-Seitenkanal

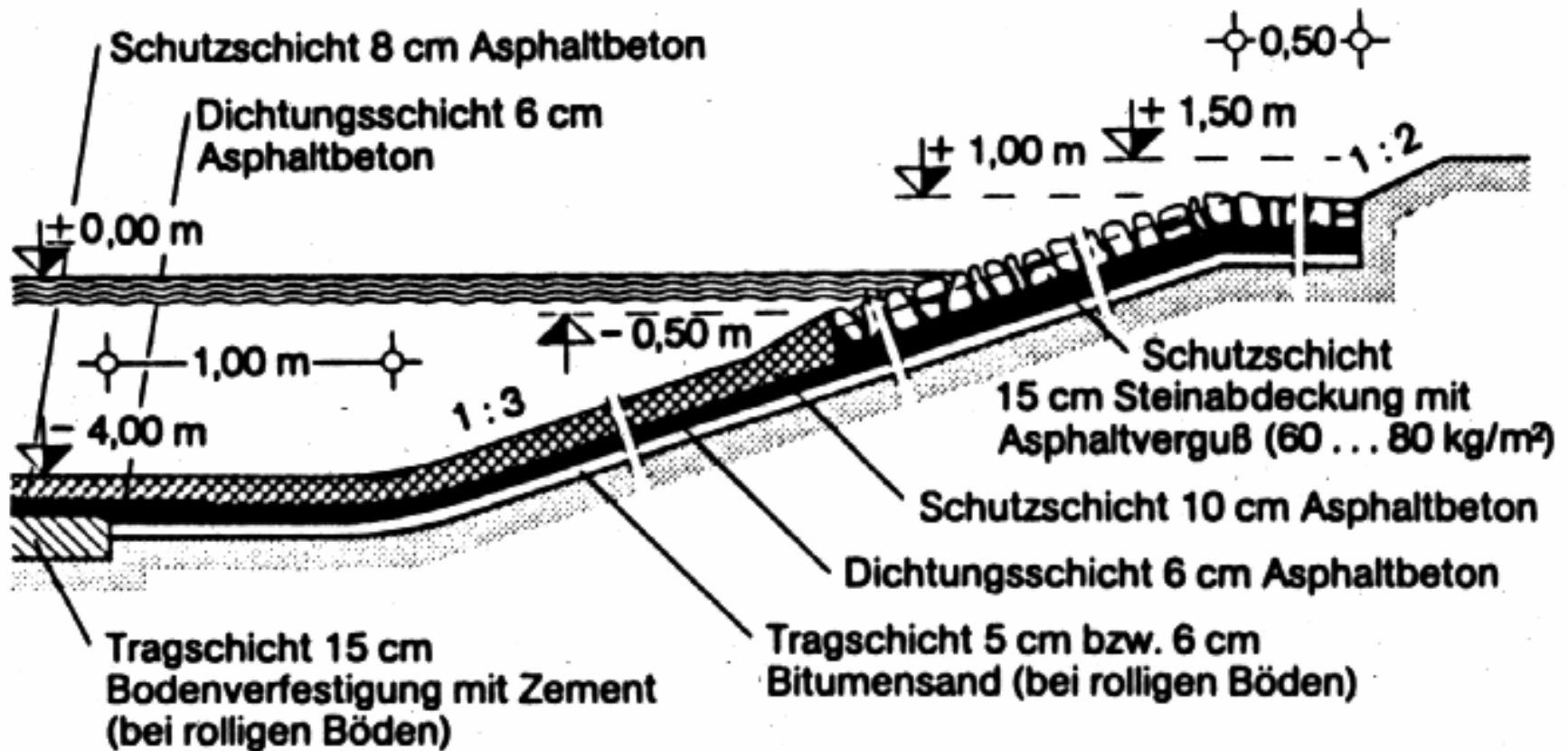


Ungedichteter Böschungsquerschnitt Regelausführung



Ungedichteter Böschungsquerschnitt Sonderausführung Bitudrain

Deckwerk und Dichtung am Elbe-Seitenkanal



Gedichteter Böschungsquerschnitt Regelausführung

