

"ALLGEMEINE GRUNDLAGEN ZUR STANDSICHERHEIT
DES UNTERGRUNDES UNTER DECKWERKEN"

Ir. M.B. de Groot
Delft Geotechnics, Delft, Niederlande

1 ALLGEMEINES

Ich möchte erst etwas über meinen Vortragsaufbau sagen und dann auseinandersetzen, wie wir bei der Beurteilung der Standsicherheit vorgehen. Die Arbeitsweise besteht aus drei Teilen: Wellenbewegungen, Grundwasserbewegungen, Standsicherheit. Im folgenden möchte ich über die ersten zwei Teile etwas berichten.

Mit der Standsicherheit meine ich nicht so sehr die Standsicherheit eines einzelnen Deckwerkselements, auch nicht die Standsicherheit einer ganzen Böschung, sondern diejenige auf einer Gleitfläche unmittelbar unter dem Deckwerk als auch auf einer tieferen Gleitfläche, wo auch der Untergrund teilweise mit abrutscht.

Was ich Ihnen berichten möchte, betrifft die Verhältnisse an der Küste (Windwellenbewegung), aber auch an Wasserstraßen (Wasserabsenk). Es betrifft gepflasterte Böschungen, aber auch Steinschüttungen und natürlich auch Geotextilien. Ich denke dabei auch an Verbundsteindeckwerke und Asphaltkonstruktionen, nicht nur geschlossene Asphaltkonstruktionen, sondern auch offene, wie z. B. Bitumarin sie herstellt.

2 ARBEITSWEISE

Zunächst etwas über die Arbeitsweise, die man zur Beurteilung der Standsicherheit verwenden kann. Die Arbeitsweise ist unterteilt in drei Teile, die ungefähr auch drei Disziplinen entsprechen. Mit den römischen Ziffern I, II

und III auf Bild 1 habe ich eine Übertragungsfunktion für jeden Teil angegeben. Wenn man die hydraulischen Randbedingungen kennt (das ist für eine Windwelle die Höhe, die Periode usw.) und die Geometrie des Bodens und die Neigung der Böschung, dann kann man mit der Disziplin der Hydraulik die erste Übertragungsfunktion lösen. Das heißt, man kann die hydraulischen Randbedingungen an der Oberfläche der Böschung bestimmen, insbesondere den Druck an der Außenseite der Böschung. Dieser Druck verursacht auch die Wasserbewegung im Untergrund, und damit kommt man in die Disziplin der Grundwasserströmungen: Mit der Übertragungsfunktion II bestimmt man aus dem Druck an der Außenseite, der Durchlässigkeit des Deckwerkes und der Durchlässigkeit des Untergrundes die Grundwasserbewegung, d. h. die Drücke unter einem Deckwerk. Hat man die Drücke an der Unterseite gefunden, dann kann man die dritte Übertragungsfunktion betrachten, das ist die eigentliche Stabilität. Das Deckwerk kann auch abgehoben werden, aber hier möchte ich mich auf das Abrutschen beschränken. Dazu braucht man natürlich auch Informationen über die Festigkeit und andere Charakteristiken der Abdeckung und des Untergrundes.

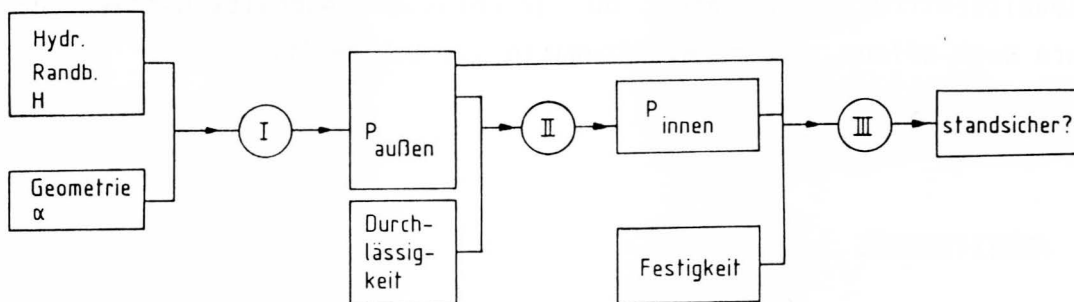
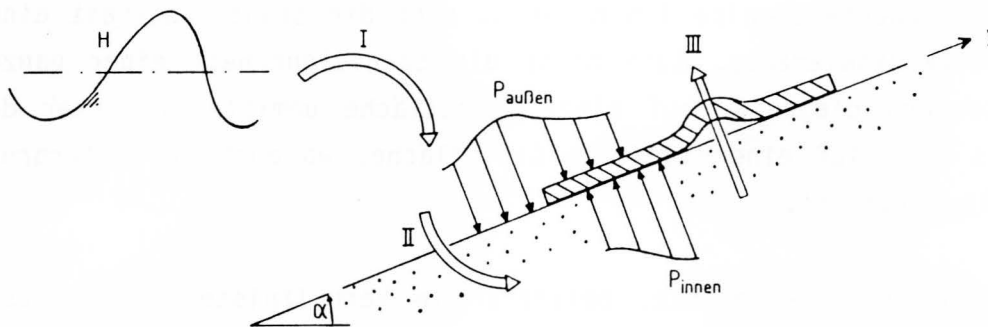


Bild 1: Übertragungsfunktionen

Also drei Übertragungsfunktionen sind zu untersuchen. Es gibt verschieden Arten, sie zu bestimmen, z. B. Naturmessungen. Aber auch in einem Wellenbecken kann man messen und die Stabilität prüfen. Man hat einfache Formeln aber es gibt auch große Computer-Modelle. Es geht mir hier um die Grundlagen und die Grundfragen. Die Grundfragen will ich hier aufzählen: Welche Arten von Übertragungsfunktionen sind am besten geeignet? Man kann sagen, die billigsten sind die besten, aber nicht immer ist eine billige Methode auch letztendlich ökonomisch. Unter welchen Bedingungen kann man einfache Methoden verwenden? Und eine weitere Grundfrage ist der Einfluß einer Funktion auf die andere: die drei Übertragungsfunktionen beeinflussen einander.

3 ÜBERTRAGUNGSFUNKTION I: WELLENBEWEGUNG

Dann komme ich jetzt zur ersten Übertragungsfunktion, das ist die Beziehung zwischen Wellenbewegung und Druck an der Außenseite der Böschung. Dieser Druck ist eine Funktion von Ort und Zeit - es ist also eine ziemlich komplizierte Funktion, in Bild 2 für eine Windwelle, in Bild 3 für eine Schiffswelle skizziert. Man versucht natürlich immer, das zu vereinfachen, dann kann man damit Berechnungen anstellen und dabei möglichst einfache Ansätze und Modelle verwenden.

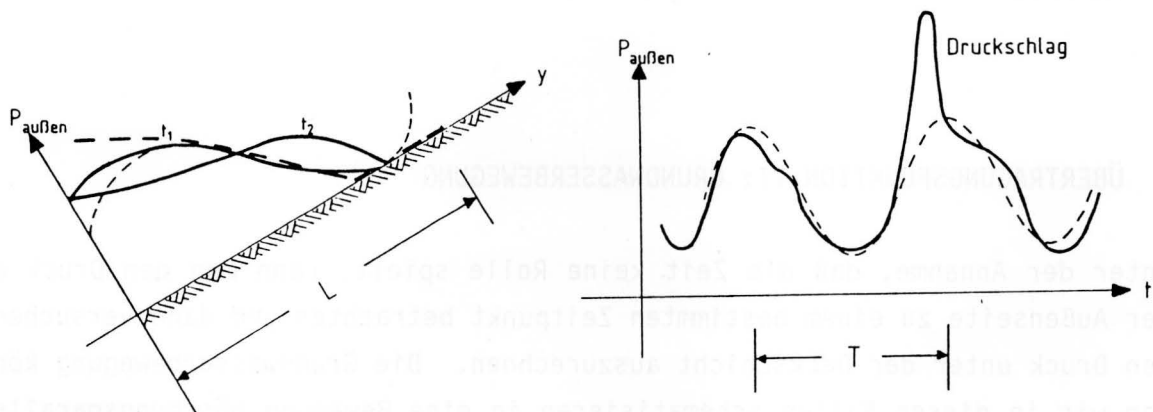


Bild 2: Druckverteilung bei Windwellen

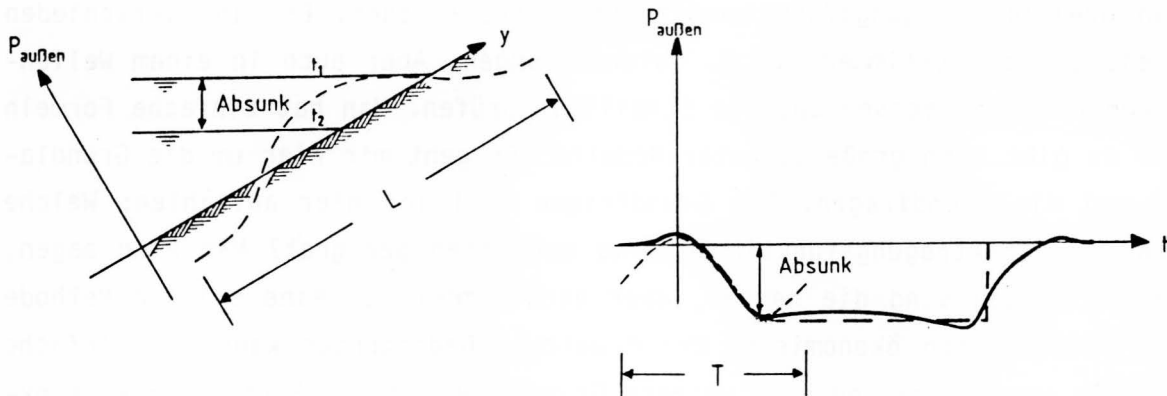


Bild 3: Druckverteilung bei Schiffswellen

Auf Bild 2 ist gezeigt (strichliert), wie man die Windwelle für den Zeitpunkt t_1 schematisieren kann zu einem einfachen Druck mit nur zwei Parametern, oder wie man die Windwelle an einem Punkt schematisieren kann zu einer Sinusfunktion. Bild 3 zeigt dasselbe für eine Schiffswelle. Aber dann stellt sich natürlich die Frage, darf man das machen? Ich komme gleich auf diese Frage zurück, wenn ich über die Grundwasserbewegung spreche.

Zunächst ist es wichtig, die Wellenbewegung zu charakterisieren, z. B. durch eine charakteristische Länge L und einen charakteristischen Zeitraum T , wie auf den Bildern 2 und 3 dargestellt. Die charakteristischen Größen sind erforderlich, um besser zu verstehen, was bei der Grundwasserbewegung geschieht.

4 ÜBERTRAGUNGSFUNKTION II: GRUNDWASSERBEWEGUNG

Unter der Annahme, daß die Zeit keine Rolle spielt, kann man den Druck an der Außenseite zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachten und dann versuchen, den Druck unter der Deckschicht auszurechnen. Die Grundwasserbewegung können wir in diesen Fällen schematisieren in eine Bewegung böschungsparell in der Filterschicht und eine Bewegung senkrecht dazu durch die Deckwerkslage. Dann gibt es ziemlich einfache rechnerische Verfahren für die Druckhöhe an der Innenseite des Deckwerkes. Das Resultat ist auf Bild 4 skizziert.

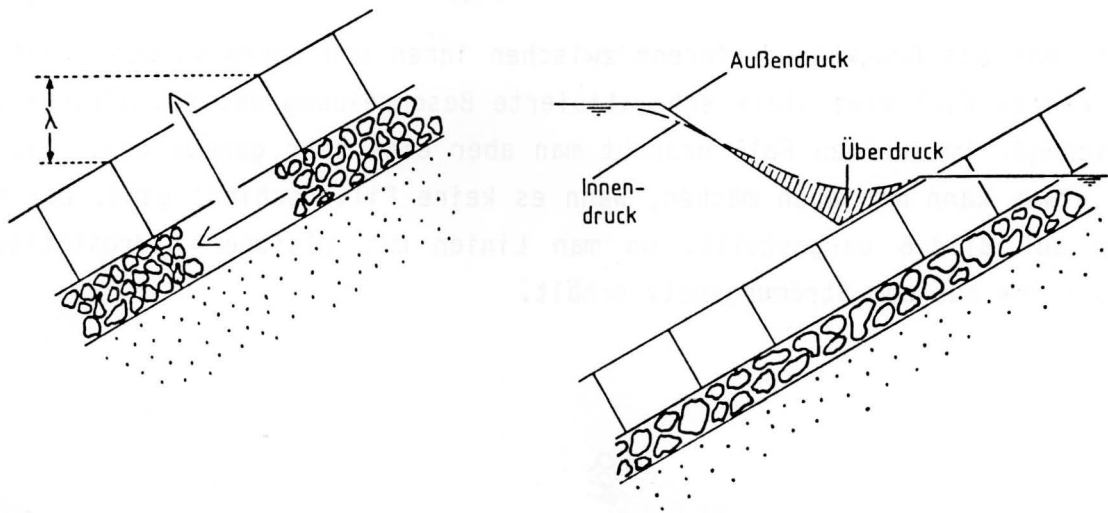


Bild 4: Grundwasserreaktion

In dieser Formel ist eine gewisse Länge λ wichtig, womit man das Verhältnis zwischen der Durchlässigkeit des Filters und der Durchlässigkeit des Deckwerkes charakterisieren kann. Diese Länge will ich vergleichen mit der charakteristischen Länge L des Außendrucks.

Wenn die charakteristische Länge für die Durchlässigkeit λ viel kleiner ist als die charakteristische Länge für den Außendruck L , d. h., wenn die Deckwerksschicht ziemlich durchlässig ist, dann ist die Druckhöhe innen ungefähr dieselbe wie die Druckhöhe außen. Ist λ aber viel größer als L , dann kann man die Deckwerksschicht wie eine dichte Schicht aus Asphaltbeton betrachten.

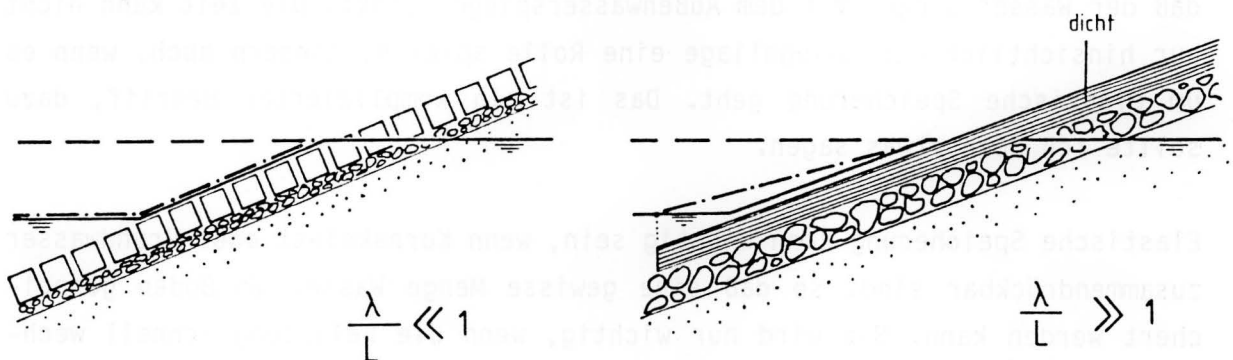


Bild 5: Druckverteilung in Abhängigkeit von der Deckwerkdurchlässigkeit

Will man die Druckhöhedifferenz zwischen innen und außen wissen, dann ist im ersten Fall eine stark schematisierte Beschreibung des Außendrucks ausreichend. Im zweiten Fall braucht man aber eine sehr genaue Beschreibung. So etwas kann man auch machen, wenn es keine Filterschicht gibt. Das habe ich auf Bild 6 dargestellt, wo man Linien mit gleicher hydrostatischer Druckhöhe aus dem Strömungsnetz erhält.

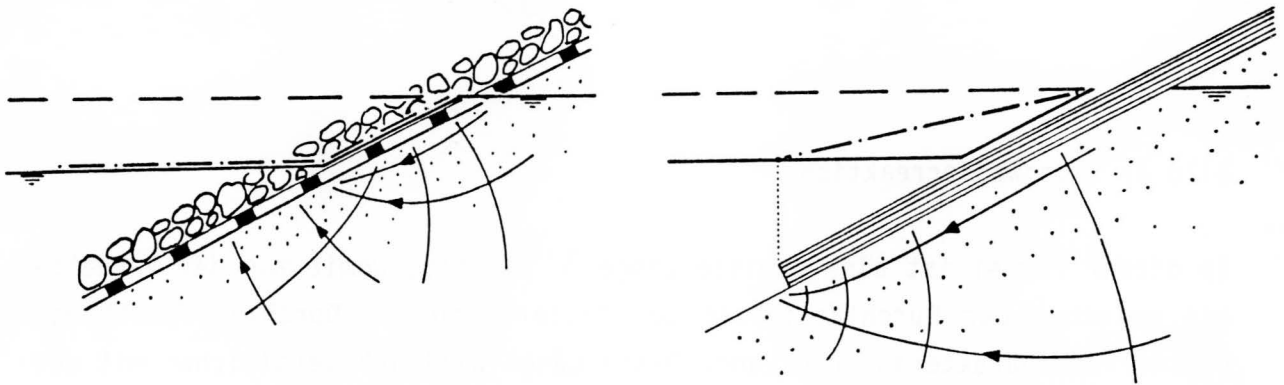


Bild 6: Druckverteilung aus Strömungsnetz ermittelt

Ich hatte gesagt, die Zeit spielt keine Rolle, aber die Zeit kann eine Rolle spielen. Das hängt vom Grundwasserspiegel ab. Diesen habe ich in den ersten zwei Fällen konstant angenommen. Im dritten Fall habe ich angenommen, daß der Wasserspiegel mit dem Außenwasserspiegel sinkt. Die Zeit kann nicht nur hinsichtlich der Spiegellage eine Rolle spielen, sondern auch, wenn es um elastische Speicherung geht. Das ist ein komplizierter Begriff, dazu sollte ich doch etwas sagen.

Elastische Speicherung kann wichtig sein, wenn Kornskelett oder Grundwasser zusammendrückbar sind, so daß eine gewisse Menge Wasser im Boden gespeichert werden kann. Sie wird nur wichtig, wenn die Belastung schnell wechselt und das Wasser nicht schnell in den oder aus dem Boden strömen kann (Bild 7).

Bild 7:

ELASTISCHE SPEICHERUNG

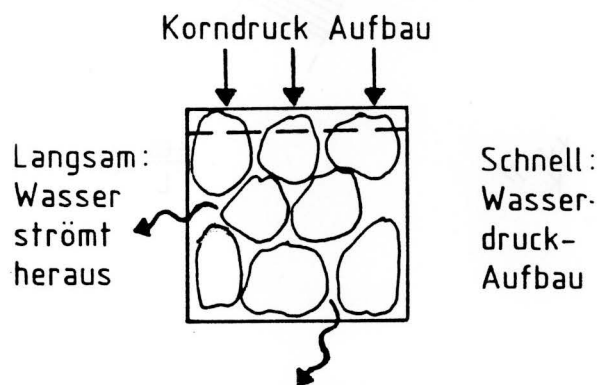
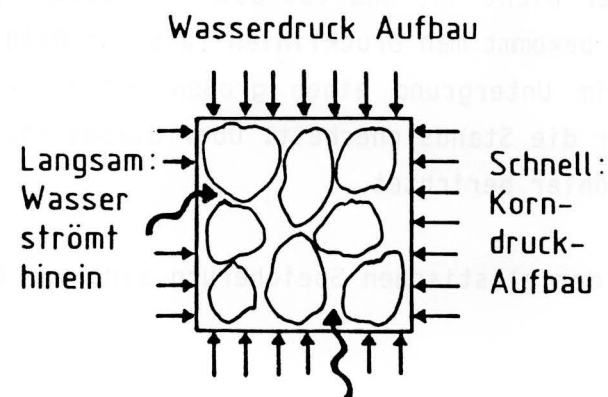
k - Durchlässigkeit des Bodens

 K_W - Kompressionsmodul des Wassers

K - Kompressionsmodul des Kornskeletts

 γ_W - Wichte des Wassers

n - Porenvolumen

Kornskelett zusammendrückbar: $\frac{K_W}{K} \gg 1$ Konsolidierungsbeiwert $c_V = \frac{k}{\gamma_W} \cdot K \quad [m^2/s]$ Grundwasser zusammendrückbar: $\frac{K_W}{K} \ll 1$ Konsolidierungsbeiwert $c_V = \frac{k}{\gamma_W} \cdot \frac{K_W}{n}$

Was bedeutet das im Hinblick auf die Deckwerksschichten und die Stabilität?
Das versuche ich, auf Bild 8 klar zu machen. Eine charakteristische Länge können wir auch hier definieren:

$$L_{ES} = \sqrt{T \cdot C_V}$$

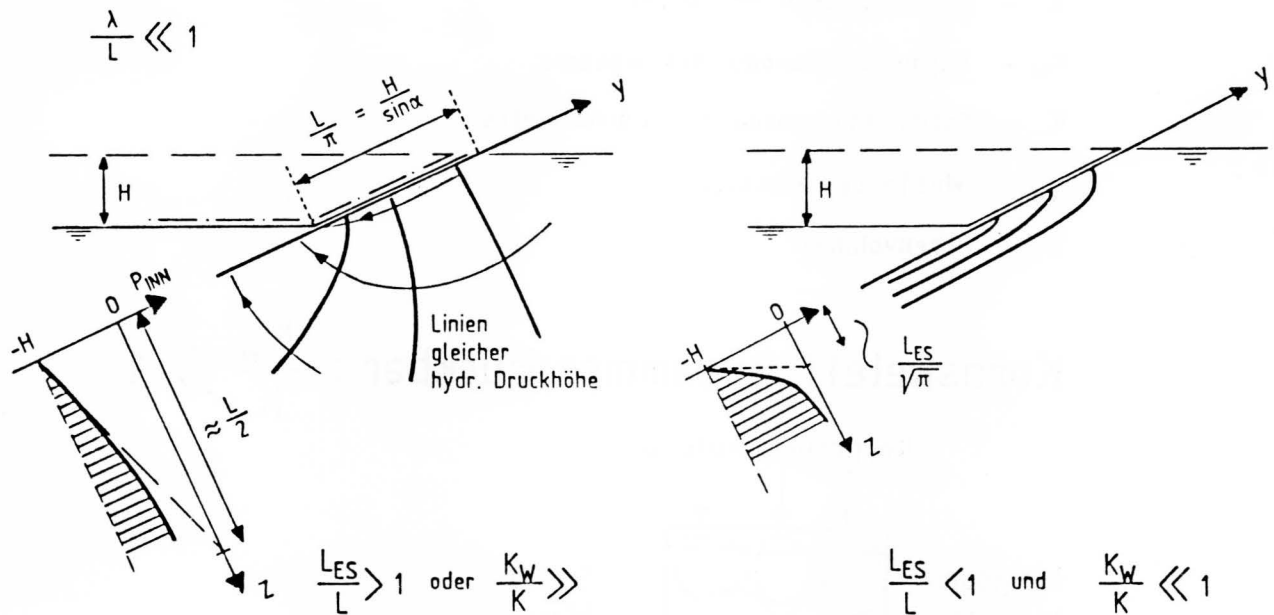


Bild 8

Darin ist T , das ist die Periode der Außenwellen und C_V , der Konsolidierungsbeiwert, enthalten. Wenn diese Länge viel größer ist als die charakteristische Länge des Außendruckes L , dann kann man sagen, die Zeit spielt keine Rolle, und man kann ein Potentiallinienetz annehmen, wie auf Bild 8 links angegeben. Ist es aber nicht so, und ist auch die Zusammendrückbarkeit des Wassers groß, dann bekommt man Drucklinien (wie auf Bild 8 rechts) angegeben. Damit hat man im Untergrund einen großen Überdruck. Das ist wirklich sehr gefährlich für die Standsicherheit. Über dieses Phänomen wird auch im Vortrag von Herrn Köhler berichtet.

Andere Beispiele zur Rolle der elastischen Speicherung sind auf Bild 9 angegeben:

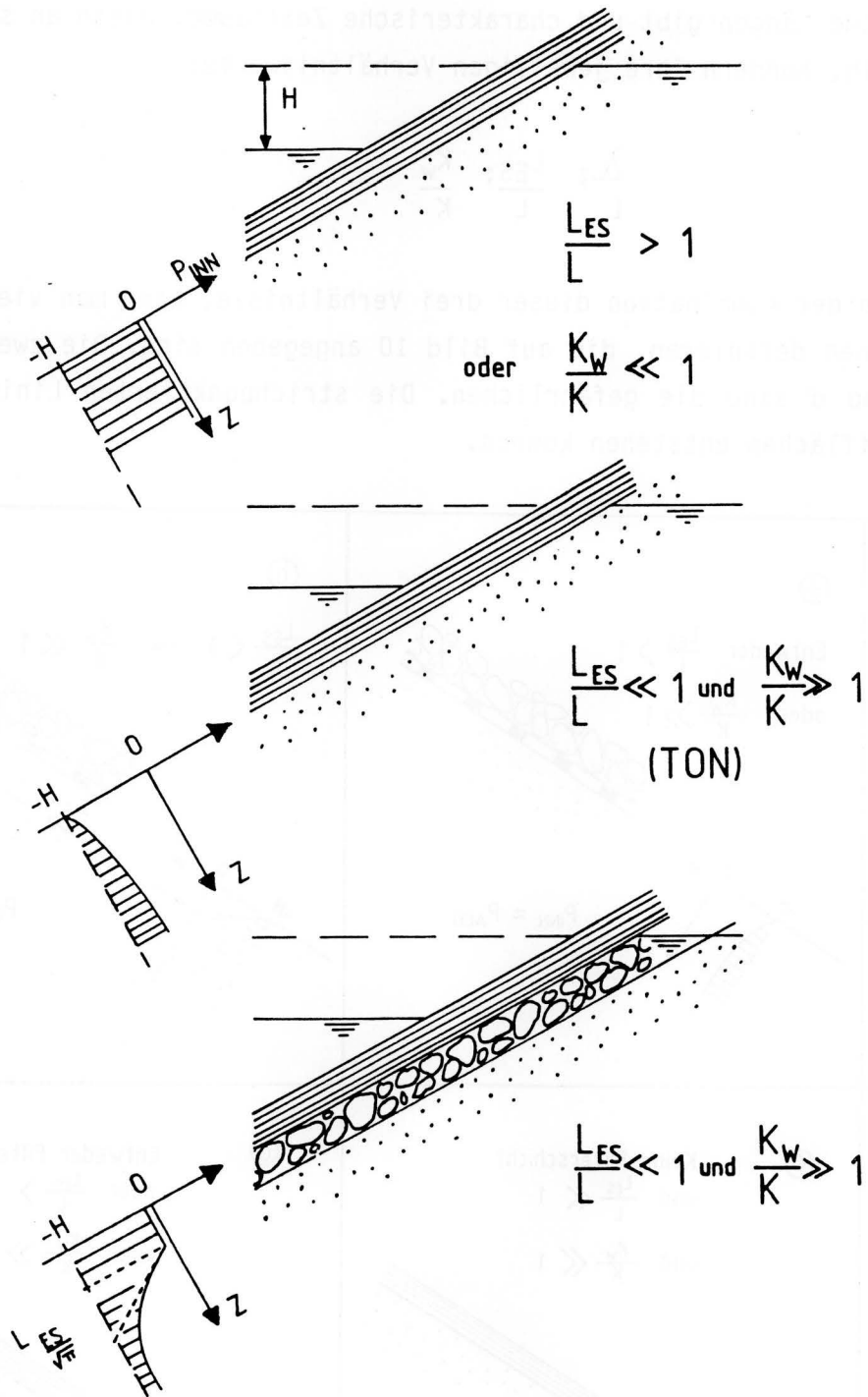


Bild 9

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ich habe nur über die erste und die zweite Übertragungsfunktion berichtet, d. h. über den Wasserdruck außen und innen. Wir haben festgestellt, daß es charakterische Längen gibt und charakterische Zeiträume. Diese an sich sind nicht wichtig, sondern ihre jeweiligen Verhältniszahlen:

$$\frac{\lambda}{L}; \frac{L_{ES}}{L}; \frac{K_W}{K}$$

Abhängig von der Kombination dieser drei Verhältnisse, kann man vier extreme Situationen definieren, die auf Bild 10 angegeben sind. Die zwei Situationen b und d sind die gefährlichen. Die strichpunktierten Linien geben an, wo Gleitflächen entstehen können.

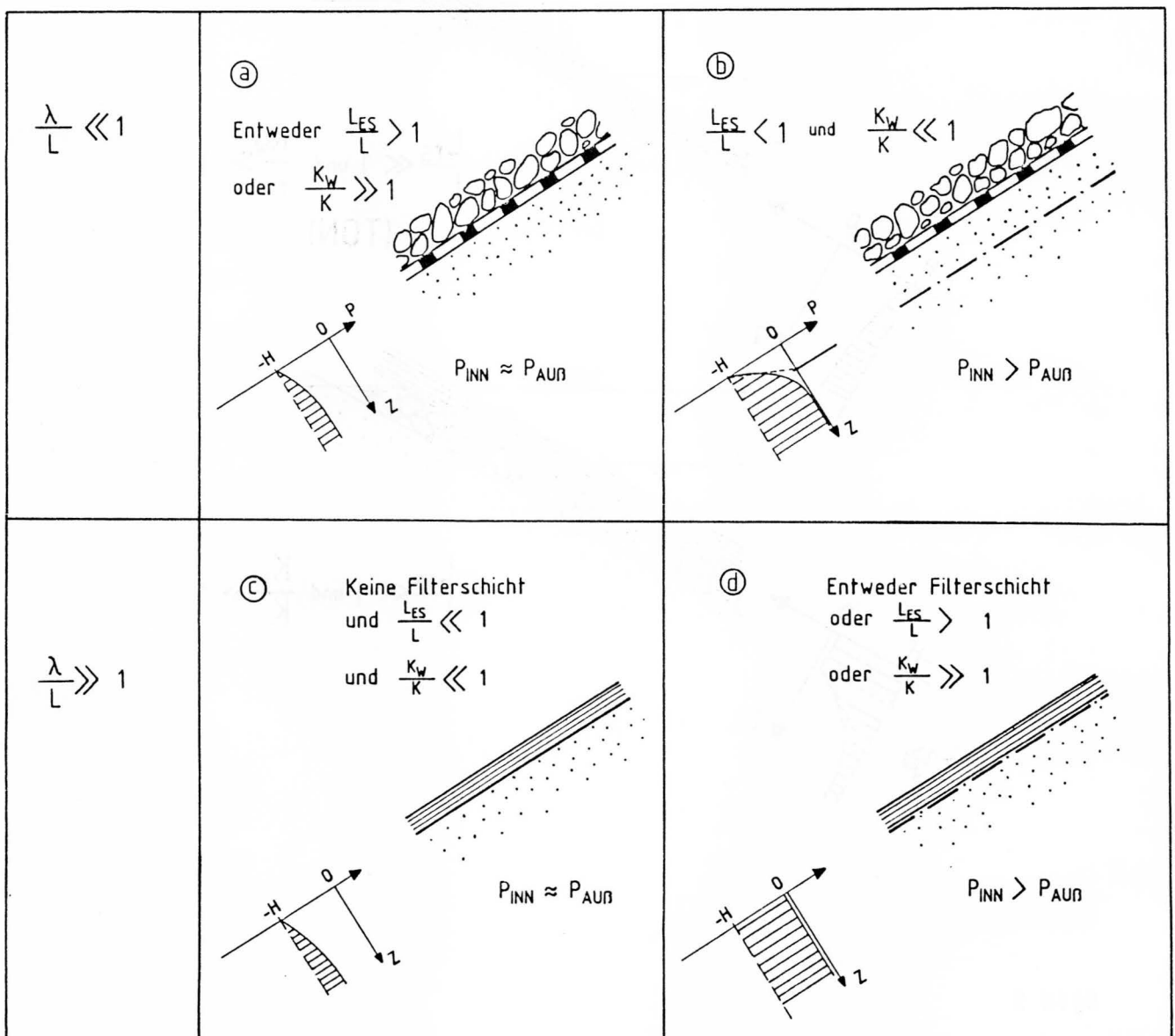


Bild 10