

Geotextilien

Autor(en): **Giroud, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 42

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73767>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Geotextilien

Von Jean-Pierre Giroud, Grenoble

Heute ist es nicht mehr nötig, einen Artikel über Geotextilien mit langweiligen Definitionen einzuleiten*). In den Konstruktionsbüros und auf den Baustellen weiss fast jeder, was ein «Gewebe» oder ein «Vlies» ist. Die Hälfte meiner Studenten hat schon vor der ersten Vorlesung von Geotextilien gehört. Man kann keine Geotechnikvorlesungen mehr halten, ohne von Geotextilien zu sprechen. Ohne Geotextilien kann man keine Geotechnik mehr betreiben. Und in der heutigen Wirtschaftssituation würden einige Fabriken ohne die Geotechnik keine Textilien mehr herstellen!

Warum so viel Erfolg? Erteilen wir zuerst den Fabrikanten das Wort. In ihren Broschüren über Geotextilien begegnet man immer wieder Anpreisungen wie

- Materialeinsparung,
- Arbeitszeitverkürzung,
- vereinfachte Kontrolle der Bauausführung,
- Verringerung des Geräteverschleisses,
- Verbesserung der Leistungen des Bauwerkes.

Der erste Punkt ist auf der Stufe des Bauvertragsabschlusses leicht abzuschätzen. Die drei folgenden zeigen, dass die Geotextilien den Unsicherheitsanteil in den Arbeiten vermindern. Der letzte Punkt schliesslich ist der, der uns hier interessieren wird: *Konzept und Verhalten der Bauwerke*. Auf diesen Punkt werden sich die Überlegungen, die Forschungen und die Fortschritte in den kommenden Jahren konzentrieren.

Der im letzten Jahr (1977) in Paris stattgefundenen Kongress, an dem sich Fabrikanten und Anwender, Forscher und Ingenieure zusammenfanden, ermöglichte es, eine Bilanz zu ziehen über die enorme Entwicklung, die vor zehn Jahren durch das Erscheinen des ersten ungewobenen Geotextils in Frankreich ausgelöst wurde.

Erste Eindrücke

Die *ersten Anwendungen* erfolgten in der Mehrzahl in einem Klima der *Improvisation* mit relativ wenig Untersuchungen, aber im allgemeinen mit Erfolg. Denen, welche Geotextilien anwenden, «weil das geht», stehen einige Forscher gegenüber, denen es nicht gelang, diese oder jene durch die *Baustellenerfahrung* erhärtete Rolle der Geotextilien klarzustellen (eine Diskussion auf dem Pariser Kongress über Baustellenpisten war in dieser Hinsicht bezeichnend).

Grosse *Forschungsbemühungen* sind schon in zahlreichen Ländern mit gewissen interessanten Ergebnissen, aber auch mit Fehlschlägen unternommen worden, entweder weil einige

*) Der Begriff «Geotextil» zur Bezeichnung der in der Geotechnik verwendeten Textilien ist von J.P. Giroud auf dem internationalen Kolloquium über die Anwendung von Textilien in der Geotechnik in Paris im April 1977 vorgeschlagen worden. Der Verfasser dieses Artikels lehrt Geotechnik an der Universität Grenoble, wo er einen sich mit Geotextilien befassenden Forscherstab leitet. Er hat schon über dieses Thema Vorträge in zahlreichen Ländern gehalten und im Juli 1970 am Staudamm von Valcros den ersten mit ungewobenen Textilien ummantelten Drän sowie die erste Ufersicherung mit ungewobenen Geotextilien ausgeführt.

Übersetzung eines Artikels, erschienen in «Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment» (Paris) vom 26. Dez. 1977.

verwickelte Phänomene (wie die Filtration) nicht immer richtig verstanden und Forschungsarbeiten schlecht durchgeführt wurden, oder weil die unvollkommene Simulation des Boden-Geotextil-Verbandes durch ein verkleinertes Laboratoriumsmodell zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann.

Die Mehrzahl der Versuche zur Messung der Eigenschaften der Geotextilien stammt aus der *traditionellen Textilindustrie*. Diese Versuche gehorchen Normen, die von allen Laboratorien eingehalten werden, was einen objektiven Vergleich der Ergebnisse ermöglicht. Aber so interessant es auch sein mag, man tut sich schwer mit diesem Erbe aus der Textilindustrie: Bei zahlreichen genormten Versuchen ist die Versuchsdurchführung den Geotextilien nicht angepasst; sie müsste daher geändert werden. Aber wie und durch wen?

Diese drei «ersten Kongresseindrücke» werden sich als roter Faden durch die folgenden Ausführungen ziehen:

- Zunächst sollte etwas Ordnung in die Vielzahl der Anwendungen gebracht werden;
- anschliessend werden wir versuchen, das Verständnis der durch die Geotextilien ins Spiel gebrachten hydraulischen und mechanischen Phänomene zu vertiefen;
- schliesslich werden wir die Messungen behandeln, die sich bei den Geotextilien durchführen lassen.

Anwendungen und Grundsätze

In der Schule werden erst die Prinzipien erläutert, aus denen man anschliessend die Anwendungen ableitet. Hier dagegen gehen wir von den Anwendungen aus, um davon die Grundsätze abzuleiten, wie es bei den Geotextilien tatsächlich geschehen ist.

In erster Linie haben nämlich die Ingenieure Textilien in Bauwerke wie *Fahrbahnen, Dammaufschüttungen, Dränagen, Ufersicherungen* eingebaut und festgestellt, dass diese Versuche von Erfolg gekrönt waren. Anschliessend sind die Forscher gekommen, um alles zu erklären! Ich gehöre zu den letzten, nachdem ich zuvor zu den ersten gehört habe.

Lassen wir daher die verschiedenen Anwendungen Revue passieren. Zu diesem Zweck betrachten wir die Broschüren der Fabrikanten. Man sieht dort zahlreiche Photos, welche die Anwendungsfälle auf verschiedenen Gebieten zeigen: *Erdbau und Dammaufschüttungen, Strassen- und Gleisbauarbeiten, Wasserbauarbeiten* (Rückhaltebecken, Staudämme, Kanäle), *Meeresarbeiten, Dränage und Entwässerung, Filtration, Landwirtschaft, Freizeit und Sport* etc. Wir haben etwa 40 typische Anwendungen ausgewählt und versucht, sie logisch einzuordnen und hoffen, nichts ausgelassen zu haben. Erste Klassifizierung: Beanspruchungen hauptsächlich durch *Wasser* (Bild 1) oder durch die *feste Phase des Bodens* (Bild 2).

Diese Unterscheidung ist sehr wichtig, wenn man eine logische Klassifizierung festlegen möchte. Man weiss nämlich, dass die auf einen Boden wirkenden Beanspruchungen sich schematisch auf das Wasser und die feste Phase (d.h. das durch die Körner oder Partikeln gebildete Skelett) aufteilen.

Das Geotextil ist daher, wie der Boden, Beanspruchungen unterworfen, die entweder von der flüssigen Phase (dem

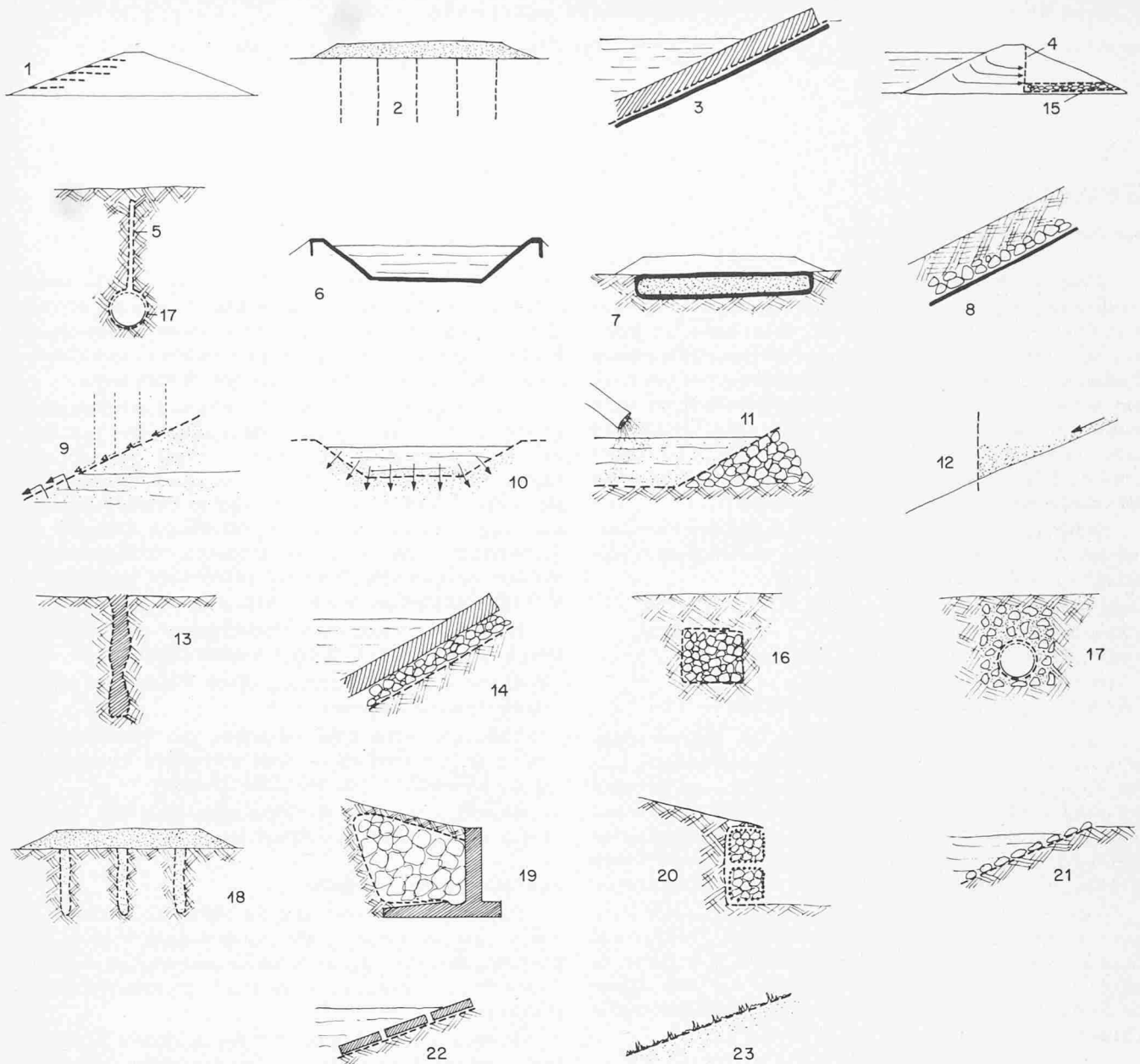


Bild 1. Anwendungsbeispiele für Geotextilien in Fällen, wo die Hauptbeanspruchung vom Wasser kommt

a) *Rolle des Dräns* (das Geotextil transportiert das Wasser in seiner Ebene).

1: Drainage der Oberwasserseite eines Erdammes zur Sicherstellung der Stabilität im Fall rascher Entleerung. 2: Drainage durch senkrechte Dochte zur Beschleunigung der Bodenverfestigung. 3: Dränteppich zwischen abdichtender Geomembran und Betonauskleidung zur Ableitung des im Beton befindlichen Wassers bei seinem Einbau und des anschließend durch den Beton sickern den Wassers. 4: Dränvorhang, der die Sickerwässer in einem Erdamm sammelt. 5: Dränvorhang, der das angesammelte Wasser zu einem Rohr leitet.

b) *Rolle der Abdichtung* (das Geotextil in Verbindung mit Bitumen, Kunstharz, Elastomer usw. bildet eine Geomembran, die das Wasser zurückhält).

6: Rückhaltebecken, Staudämme, Kanäle.

7: Dichte Matte, die den Wassergehalt und daher die Festigkeit einer verdichteten zur Aufnahme von Kräften bestimmten Bodenschicht konstant hält. 8: Abdichtung der Unterseite eines Dräns zur Ableitung von Niederschlagswasser.

c) *Rolle des Ventils* (das Geotextil ist undurchlässig, wenn es nicht gesättigt ist und wenn der Wasserdruck niedrig ist, und ist durchlässig, wenn der Wasserdruck eine bestimmte Schwelle überschreitet).

9: Das Geotextil leitet Niederschlagswasser (geringer Druck) ab, wird aber vom Porenwasser (hoher Druck) durchquert.

d) *Rolle des Filters, Fall 1* (das quer zu einer Wasserströmung mit in Schweben befindliche Teilchen angeordnete Geotextil lässt das Wasser durch und hält die festen Teilchen zurück).

10: Becken zur Rückspeisung in das Grund-

wasser. 11: Einspülverfahren. 12: Erosionsbarriere. 13: Pfahlumhüllung, lässt beim Giessen des Ortbetonpfahls das Wasser durch, hält aber die Betonteilchen zurück.

e) *Rolle des Filters, Fall 2* (das an der Grenze eines von Wasser umströmten Bodenkörpers angebrachte Geotextil lässt das Wasser durch und hält die festen Partikel fest).

14: Filter zwischen dem Boden und dem Dränteppich unter einer Kanal-Becken-Staudamm-Auskleidung eingebaut. 15: Filter, der einen Staudamm-Dränteppich umhüllt. 16: Drainagegraben. 17: Filter, der ein gelochtes Drainagerohr umhüllt. 18: Umhüllungen senkrechter Sanddräne. 19: Filter, der den Drän einer Stützmauer schützt. 20: Filter zwischen Boden und Gabionen. 21: Filter unter geschütteter Steinabdeckung, die ein Ufer gegen Wellenschlag oder Strömung schützt. 22: Filter unter Schutzplatten. 23: Filter für Berasung.

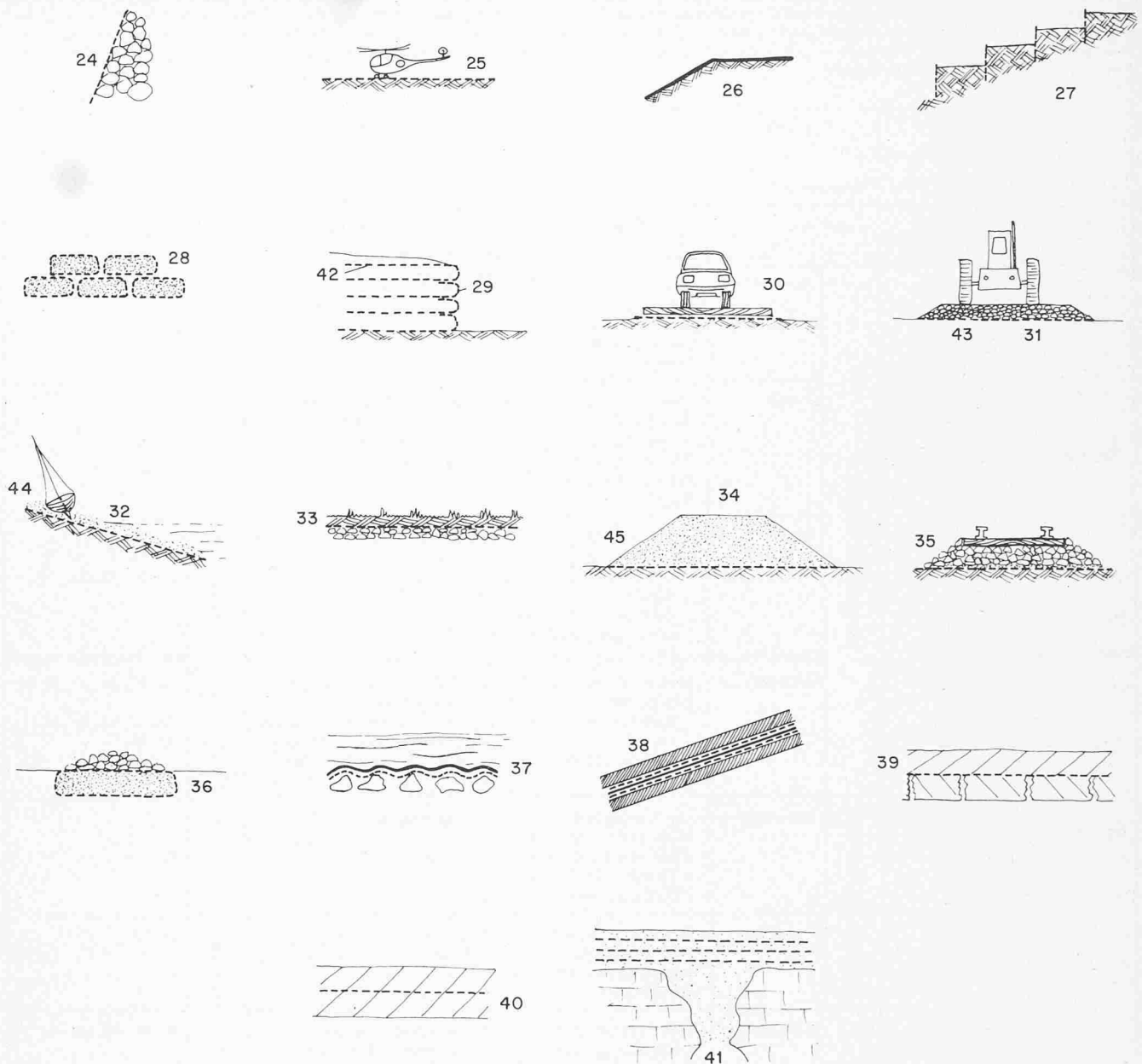


Bild 2. Anwendungsbeispiele für Geotextilien in den Fällen, wo die Hauptbeanspruchung von der festen Phase des Bodens herrührt.

a) *Rolle des Behälters, Fall 1* (das Geotextil trennt den Boden vom äusseren Medium, mit anderen Worten, es enthält den Boden oder hält ihn zurück).

24: Einsturz- oder Rutschsicherung. 25: Belag für Abstellplätze oder Fahrbahnen im Gelände. 26: Verkleidung durch dichte Geomembran, hergestellt aus Geotextil in Verbindung mit Bitumen oder Kunstharz oder Elastomer zum Schutz einer Fläche oder Böschung gegen Regen. 27: kleine Abfangung durch an Pflöcken befestigte Geotextilien. 28: Säcke und Würste. 29: Aussenverkleidung.

b) *Rolle des Behälters, Fall 2* (das Geotextil trennt zwei unter Lasteinwirkung zur Vermischung neigende Materialien).

30: Bohlenfahrbahn. 31: Kiespiste. 32: künstlicher Strand. 33: Sportplatzboden oder landwirtschaftlicher Boden (in diesem Fall befindet sich im Gegensatz zu den beiden vorherigen

der feine Boden oben – Situation, die man im oberen Teil von Beispiel 19 vorfindet). 34: Dammaufschüttung. 35: Eisenbahndamm. 36: mit einem Geotextil umhülltes Sandpolster als Unterbau in sehr wenig tragfähigem Erdboden (z.B. Deich auf Schlick).

c) *Rolle der Unterlage* (das Geotextil unterstützt ein Material, das nicht in der Lage ist, allein den einwirkenden Kräften standzuhalten).

37: Geotextil, eingelegt zwischen einem Kiesbett und einer Abdichtfolie (aus Kunststoff, Elastomer), die allein unter der Wasserlast bersten würde.

d) *Rolle der Isolierung* (das Geotextil isoliert zwei Materialien, um zu verhindern, dass sich Verformungen des einen auf das andere übertragen).

38: Mehrschichtauskleidung für Kanal (Beton – Geotextil – Dichtfolie – Geotextil – Beton) zur

Erzielung vollkommener Dichtigkeit, wobei die gegenseitige Bewegung der verschiedenen Schichten aufgrund thermischer Beanspruchungen und unterschiedlicher Setzungen gewährleistet bleiben soll. 39: Geotextil zwischen zwei Strassenbelägen zur Verhinderung der Rissausbreitung.

e) *Rolle der Armierung* (das Geotextil nimmt die Zugkräfte auf, denen der Boden nicht standhalten kann).

40: Belagsarmierung (z.B. Strassenbelag). 41: Boden-Geotextil-Sandwich zur Überbrückung einer schwachen Bodenzone (z.B. Karsteinsturz). 42: Mehrschichtaufschüttung Boden – Geotextil (bei wassergesättigtem Boden wirken die Armierungen gleichfalls als Drän, siehe Beispiel 1). 43: Verteilung von Verkehrslasten. 44: Verteilung des Gewichts schwerer Gegenstände. 45: Verbesserung der Stabilität von Dammfüssen durch Aufnahme horizontaler Beanspruchungen durch das Geotextil.

Tabelle 1. Rolle der Geotextilien. Definition einiger verwendeter Begriffe. *Beanspruchung*: Auf das Geotextil ausgeübte Wirkung. *Durchlassungsvermögen*: Produkt aus der Durchlässigkeit des Geotextils und dessen Dicke (die transportierte Durchflussmenge ist dem Durchlassungsvermögen proportional). *Impedanz*: Verhältnis Dicke/Durchlässigkeit (je grösser die Impedanz, desto geringer die durchfließende Wassermenge). *Permeanz*: Kehrwert der Impedanz (die durchfließende Wassermenge ist der Permeanz proportional). *Textur*: Geometrische Anordnung der Fasern

BEANSPRUCHUNG		ROLLE		ERFORDERLICHE EIGENSCHAFTEN DES GEOTEXTILS	BEISPIELE (vgl. Bild 1 und 2)	
Ursprung	Richtung	Benennung	Kommentar			
Flüssigkeit	In Richtung des Geotextils	Drän		Das Geotextil leitet das Wasser in seiner Ebene	Hohes Durchlassungsvermögen	1, 2, 3, 4, 5
			Abdichtung	Das Geotextil in Verbindung mit einem abdichtenden Produkt verhindert den Wasserdurchtritt	Hohe Impedanz	6, 7, 8
	Senkrecht zum Geotextil	physikalischer Separator	Ventil	Das Geotextil verhindert den Durchtritt von Wasser bei geringem Druck und lässt bei hohem Druck Wasser durch	Hohe Impedanz unter und niedrige Impedanz über einer bestimmten Druckschwelle. Dichte Textur	9
			Filter	Das Geotextil lässt Wasser durch und – hält feste Partikel zurück, – verhindert die Bewegung fester Partikel	Hohe Permeanz und dichte Textur	
			Behälter	Das Geotextil trennt den Boden: – vom äusseren Leerraum, – vom benachbarten Material	Dichte Textur und Zugfestigkeit (Permeanz ist nur erforderlich, wenn das Geotextil gleichzeitig die Rolle des Filters spielt)	24, 25, 26, 27, 28, 29 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
Feststoff	In Richtung des Geotextils	mechanischer Separator	Unterlage	Das Geotextil stützt einen Festkörper, der allein den auf ihn einwirkenden Kräften nicht standhalten kann	Zugfestigkeit	37
			Isolierung	Das Geotextil isoliert zwei Medien mit inkompatiblen Verformungen	Geringe Reibung und Haftung und/oder hohe Verformbarkeit	38, 39
			Armierung	Das Geotextil nimmt Zugkräfte auf, denen der Boden nicht standhalten kann	Zugfestigkeit, hohe Reibung und Haftung	40, 41, 42, 43, 44, 45

Wasser) oder der festen Phase herrühren. Beispiel: Wenn das Wasser (eventuell unter Mitführung fester Partikel) ein Geotextil durchqueren möchte, handelt es sich offensichtlich um eine von der flüssigen Phase herrührende Beanspruchung (das Geotextil spielt dann die Rolle des *Filters*; wenn Bodenpartikel ein Geotextil durchqueren möchten, weil sie durch aufgebene Lasten (Erdgewicht, Baustellenverkehr usw.) gegen das Textil gepresst werden, handelt es sich offensichtlich um eine von der festen Phase herrührende Beanspruchung (das Geotextil spielt dann die Rolle der *Trennschicht* [Separator]).

Diese Unterscheidung führt zu Tabelle 1. Daraus ist ersichtlich, dass die Beanspruchung ausser durch ihren Ursprung (Feststoff oder Flüssigkeit) durch ihre *Richtung* gekennzeichnet ist. Man unterscheidet:

– Beanspruchung *senkrecht* (*normal*) zum Geotextil: Dies ist der Fall, wenn Wasser oder feste Partikel versuchen, das Geotextil zu durchqueren (Funktion des Geotextils als *Dichtung*, *Ventil*, *Filter* oder *Behälter*), und ebenso, wenn das Geotextil einen berührenden Körper trägt (Funktion als *Unterlage*).

– Beanspruchung in *Längsrichtung*: Dies ist der Fall, wenn das Wasser ein Geotextil in dessen Längsrichtung durchströmt (Funktion als *Drän*) und wenn ein Geotextil eine mechanische Rolle zwischen zwei Körpern (als *Isolierung*) oder in einem Baustoff (als *Armierung*) spielt.

Sind Ursprung und Richtung der Beanspruchungen bekannt, lassen sich für ein Geotextil folgende *acht Funktionen oder Rollen* definieren: *Drän*, *Abdichtung*, *Ventil*, *Filter*, *Behälter*, *Unterlage*, *Isolierung* und *Armierung*. Zu diesen Rollen lassen sich folgende Bemerkungen machen:

1. Als *Ventil* erfüllt das Geotextil eine *Funktion zwischen Abdichtung und Filter*: Das Geotextil lässt Wasser nur durch, wenn dessen Druck höher ist als jener der Kapillarspannung zwischen den Fasern. Bei den gebräuchlichen ungewobenen Geotextilien genügt eine Wasserhöhe von einigen Zentimetern, um die Kapillarspannung zu überwinden. Ein solches Geotextil ist daher für Niederschlagwasser undurchlässig, zumindest solange es trocken ist (Sättigung hebt nämlich die Kapillarspannung auf). Von einem Geotextil wird praktisch niemals verlangt, die Rolle eines Ventils zu spielen, vielleicht

weil man nicht daran denkt. Man kann jedoch davon ausgehen, dass es bei bestimmten Projekten sinnvoll wäre, sich diese Eigenschaft zunutze zu machen.

2. In den sechs folgenden Rollen *Abdichtung*, *Ventil*, *Filter*, *Behälter*, *Unterlage* und *Isolierung* bildet das Geotextil ein *Hindernis*. In den vier ersten dieser Rollen ist es ein *physikalisches Hindernis* (physikalischer Separator), das verhindert, dass sich die Materialien vermischen (Abdichtung: das Geotextil hält das Wasser zurück; Filter: er lässt das Wasser hindurch, und hält die festen Partikel zurück; Behälter: er umschliesst die festen Partikel und er lässt Wasser hindurch; Ventil: weiter oben erklärte Zwischenrolle). In den beiden letzten dieser sechs Rollen ist das Geotextil ein *mechanisches Hindernis* (mechanischer Separator), das die Erhöhung der Beanspruchungen verhindert (Rolle der Unterlage) oder die Ausbreitung von Verformungen (Rolle der Isolierung).

3. Die Rollen des *Dräns* und der *Armierung* haben gemeinsame Punkte: Die Beanspruchung erfolgt in Richtung des Geotextils, wobei sich diese in zahlreichen Fällen im Innern eines Erdkörpers und nicht an der Trennfläche zweier verschiedener Böden befindet (Bild 1 und 2, Beispiele 1, 40, 41 und 42). Es ist daher nicht verwunderlich, dass ein Geotextil gleichzeitig diese beiden Rollen spielen kann. Man hat dann eine *«dränierende Armierung»* vor sich, die den Erdkörper verstärkt, indem sie seine Verfestigung beschleunigt. (Es sei darauf hingewiesen, dass zahlreiche andere Rollenüberlagerungen möglich sind).

Tabelle 1 stellt die Eigenschaften des Geotextils heraus, die in jeder Rolle ins Spiel gebracht werden. Drei Eigenschaften erscheinen als wesentlich: *Durchlässigkeit*, *Textur* (geometrische Anordnung der Fasern) und *Festigkeit* (gegen Zug). Ausgehend von diesen drei Grundeigenschaften kann man Tabelle 2 aufstellen, die schematischer ist als Tabelle 1 und in gewisser Hinsicht deren Zusammenfassung bildet. Wir haben schon 1973 die elementare Klassifizierung «Drän – Filter – Abdichtung – Armierung» vorgeschlagen, die man heute in allen Herstellerbroschüren findet.

Als wichtigstes geht aus dieser logischen Klassifizierung hervor, dass die Rollen der Geotextilien sich in zwei Kategorien einordnen lassen, je nachdem die Beanspruchung vom Wasser (Funktion als Drän, Abdichtung, Ventil oder Filter) oder von der festen Phase des Bodens (Behälter, Unterlage, Isolierung, Armierung) herrührt. Wir werden nun beide Problemtypen-Geotextilien/Wasser und der mechanische Boden-Geotextil-Verband – erörtern.

Geotextilien und Wasser

Die Permeabilität

Lassen wir die Verwendung der Geotextilien in der Herstellung von Dichtungsschichten durch Verbindung mit Bitumen, Elastomeren, Plastomeren, usw. ausser acht. Die von einem Geotextil bei Kontakt mit Wasser an den Tag gelegte Haupteigenschaft ist seine Durchlässigkeit:

- *Senkrecht-Durchlässigkeit*: Das Wasser durchfließt das Geotextil (diese Eigenschaft besteht immer, unabhängig von der Beschaffenheit des Geotextils);
- *Durchlässigkeit in der Ebene des Geotextils*: Das Wasser wird vom Geotextil in Längsrichtung transportiert (diese Eigenschaft besteht nur bei einigen dicken, ungewobenen Geotextilien).

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, führt die senkrechte Durchlässigkeit zur Rolle des Filters und die Durchlässigkeit in Längsrichtung zur Rolle des Dräns. Man muss jedoch einen grundlegenden Unterschied zwischen beiden Fällen

Tabelle 2. Zusammenhang zwischen Eigenschaften der Geotextilien und ihren Rollen. Die folgenden beiden, hier nicht aufgeführten Rollen, lassen sich von andern ableiten: Das Ventil ist eine Abdichtung bis zu einer bestimmten Grenze. Die Isolierung ist eine Armierung bis zu einer bestimmten Grenze. Die Rolle der Abdichtung ist nur möglich, wenn das Geotextil mit einem Dichtmittel vereinigt ist.

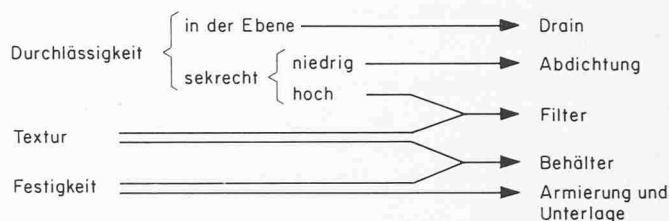
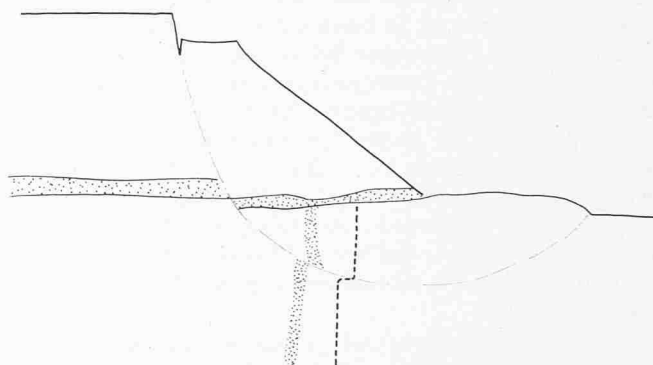


Bild 3. Vertikale Dräns zur Beschleunigung der Verfestigung des Bodens unter einem Damm. Der Sanddrän wird im Fall des Gleitens abgeschert, während der Geotextil-Docht seine Aufgabe weiterhin erfüllt



beachten, und zwar hinsichtlich der *Dicke* des Geotextils: Die vom Drän transportierte Wassermenge ist seiner Dicke proportional, die den Filter durchquerende dieser Dicke umgekehrt proportional (*Formel von Darcy*).

Ausserdem ist zu bemerken, dass in der Rolle des Filters sowie in der Rolle des Dräns die *Zugfestigkeit* des Geotextils, die seine Kontinuität aufrechterhält, aus folgenden Gründen von grosser Bedeutung ist:

- sie ermöglicht dem Geotextil-Drän seine Aufgabe dort weiter zu erfüllen, wo ein aus Sand bestehender Drän abgeschert würde (Bild 3).
- sie verhindert, dass der Geotextil-Filter durch einen Wasserstrom durch die Kiesel des Dräns mitgerissen wird.

Schliesslich muss man sich versichern, dass die Funktion des Geotextils als Drän oder Filter nicht durch das Phänomen der Verstopfung gestört wird. Untersuchen wir zuerst den Fall der Filtration.

Die beiden Filtrationstypen

Beim ersten Typ geht es um die *Filtration einer Flüssigkeit, die in Suspension befindliche Partikel* enthält. Ist der Filter ausreichend fein, um diese Partikel aufzuhalten, so sammeln sie sich an seiner Oberfläche oder in seinem Innern an. Dadurch verringert sich unvermeidlich die Durchflussmenge (Bild 1, Beispiele 11, 12 und 13). Wünscht man eine permanente Filtration, muss man den Filter periodisch wechseln oder reinigen.

Der zweite Filtrationstyp ist der eines *Bodens, in dem Wasser strömt*. Bei normal verdichtetem Boden strömt darin klares Wasser, zumindest solange, als man keinen Drän einbaut, der dieses hydraulische Gleichgewicht stört. Die

Rolle des Filters (Geotextil z.B.) zwischen Boden und Drän (z.B. Kies) besteht dann nicht darin, die Bodenpartikel aufzuhalten, sondern vielmehr zu verhindern, dass sie vom Wasser mitgeführt werden. Dieser zweite Filtrationstyp kommt in der Geotechnik viel häufiger vor als der erste (Bild 1, Beispiele 14 bis 23), während das Problem der Verstopfung – wie wir sehen werden – weniger einfach zu überblicken ist.

Funktionsweise eines um einen Drän herum angebrachten Filters

Untersuchen wir das System Boden – Filter – Drän (wobei der Drän aus Kies und der Filter aus Sand oder einem Geotextil besteht). Die hydraulischen Eigenschaften sind:

- *Boden*: geringe Durchlässigkeit, hoher Gradient
- *Filter*: hohe Durchlässigkeit, niedriger Gradient
- *Drän*: unendliche Durchlässigkeit, Gradient Null.

Die Natur liebt keine Diskontinuitäten. Ein natürliches Phänomen tritt auf, um die Diskontinuitäten der hydraulischen Eigenschaften an den beiden Schnittstellen dieses Systems zu reduzieren. Es handelt sich um das Phänomen der *Verstopfung*: Die Bodenpartikel bewegen sich, vom Wasser mitgeführt, von den Zonen geringer Durchlässigkeit nach den Zonen hoher Durchlässigkeit. Der Drän neigt daher zur Verstopfung und der Boden zur Ausschwemmung. Die Aufgabe des Filters besteht darin, diesem Phänomen Grenzen zu setzen. Alles hängt daher von der «Öffnung» des Filters ab, d.h. von der Dimension der grössten Partikel, die ihn durchqueren können. Bei den gebräuchlichen ungewobenen Geotextilien liegt die Grössenordnung der Öffnung bei etwa 100 Mikrometer.

Wenn alle Bodenpartikel grösser als die Öffnung sind, besteht offensichtlich keine Verstopfungsgefahr. Aber dies kommt praktisch nicht vor, weil solche Böden durchlässig sind und keiner Dränage bedürfen.

Wenn der Boden eine kontinuierliche Granulometrie mit Partikel grösser als die Öffnung und anderen Partikel kleiner als die Öffnung hat, werden die letzten, wenn sie sich in der Nähe des Filters befinden, vom Wasser mitgenommen. Aber dieses Phänomen ist beschränkt gültig, weil die feinen, vom Filter weiter entfernten Partikel zwischen den grösseren Partikel eingesperrt sind. Diese Bildung eines «Selbstfilters» im Boden vor dem Filter, die wir schematisch dargestellt haben, ist unter dem Mikroskop beobachtet worden. Man sieht dabei, dass die Zahl der aus dem Boden ausgeschwemmten feinen Partikel begrenzt ist. Aber wohin gehen sie? Werden sie im Textil aufgehalten oder gehen sie in den Drän? Wir werden dies später untersuchen. Zuvor aber muss ein dritter Bodentyp besprochen werden.

Wenn alle Partikel kleiner als die Öffnung des Filters sind, ist zu befürchten, dass alle durchgehen. Dies würden sie tatsächlich tun, wenn sie sich im Wasser in Suspension befänden. Da aber diese weniger als 100 Mikrometer messenden Partikel einen normalerweise kompakten Boden bilden, sind sie untereinander durch eine Kohäsionskraft gebunden, die im allgemeinen umso grösser ist, je kleiner diese Partikel sind. Dadurch bilden sich an den Öffnungen des Filters kleine, stabile Gewölbe, womit sich auch hier die Menge der ausgeschwemmten Partikel begrenzt (Bild 4).

Es besteht also die Gefahr einer beträchtlichen Partikelwanderung bei folgenden zwei Bodentypen:

- Wenig kompakte Böden oder Böden mit diskontinuierlicher Granulometrie, in denen die feinen Partikel nicht blockiert sind. In solchen Böden fliesst kein klares Wasser, und dies läuft auf den Fall der Filtration einer mit in Schwebelage befindlichen Partikel beladenen Flüssigkeit hinaus. Man

weiss, dass in diesem Fall eine beträchtliche Verstopfung unvermeidlich ist.

- Böden, in denen alle Partikel sehr fein sind und keine Kohäsion haben. Dieser Fall ist ziemlich selten (Aschen, Stäube), und man müsste dann feinere Geotextil-Filter verwenden, als gewöhnlich zur Verfügung stehen.

Die Wanderung feiner Partikel, die gewöhnlich in Grenzen bleibt, aber in den beiden vorgenannten Fällen beträchtlich sein kann, führt zur Gefahr der Verstopfung.

Verstopfung

Zuerst muss man wissen, dass die Verstopfung eine Verringerung der Durchlässigkeit aufgrund der Erhöhung der Partikelzahl in einem gegebenen Volumen ist. Im Fall des Systems Boden – Filter – Drän können alle drei Elemente sich zusetzen bzw. verschlammten.

Was den Boden betrifft, haben wir vorher schon gesehen, dass zwei verschiedene Phänomene auftreten können:

- Im allgemeinen verliert der in der Nähe des Filters befindliche Boden eine kleine Menge an Partikeln: Es gibt dann keine Verschlämmung des Bodens, im Gegenteil.
- In den (ziemlich seltenen) der Filtration von Flüssigkeiten verwandten Fällen findet eine Ansammlung feiner Partikel auf dem Filter statt: es gibt also eine Verschlämmung des Bodens vor dem Filter.

Obige Unterscheidung zwischen den beiden Ausschwemmungsarten des Bodens ist nicht vom Filter, sondern ausschliesslich vom Boden und von der Strömung abhängig. Hingegen hängt die Menge der feinen Partikel, die den Boden verlässt, vom Filter ab und bedingt das Risiko der Verstopfung des Filters und des Dräns.

Es wäre absurd, um jeden Preis einen Filter zu wählen, der nicht in Gefahr läuft, sich zuzusetzen. Dazu brauchte es nämlich:

- entweder eine dichte Membran, die alles, selbst Wasser, zurückhält;
- oder ein sehr offenes Textil, das grösszügig alle Bodenpartikel durchgehen lässt und somit die Verstopfung des Dräns – und selbstverständlich die Ausschwemmung des im Zulauf gelegenen Bodens – bewirkt.

Der Filter muss daher folgenden Kompromiss verwirklichen: Das gesamte Wasser durchlassen und die (unvermeidliche) Wanderung der Partikel beschränken. Einige dieser Partikel bleiben im Filter zurück, die anderen durchqueren ihn und gehen in den Drän.

Welches ist der Anteil der Partikel, die durchgehen oder im Filter zurückbleiben? Sicher spielt die Dicke des Filters eine Rolle. Natürlich, je dicker ein Filter ist, um so mehr Chancen bestehen, dass die Partikel von ihm zurückgehalten werden. Aber es hat darin auch mehr Platz, um diese zurückgehaltenen Partikel unterzubringen. Man darf daher nicht daraus schliessen, wie es manche tun, dass die Gefahr der Verstopfung mit der Dicke des Geotextil-Filters zunehme. Ausserdem ist es offensichtlich, dass die Dicke die Wirkung eines Filters – insbesondere eines Geotextilfilters – günstig beeinflusst, weil sie das Risiko örtlich anormal grosser Öffnungen, die ziemlich grosse Partikel durchlassen verringert.

Die Dicke ist also ein interessanter Faktor, der gewissen ungewobenen Geotextilien Vorteile gegenüber den gewobenen Geotextilien zusichert. Schliesslich muss man sich vorstellen, dass selbst bei einer bestimmten Anzahl von zwischen den Fasern eingesperrten Partikeln die Durchlässigkeit eines Geotextils noch gross ist. Selbst wenn diese teilweise Verstopfung die Durchlässigkeit um den Faktor 10 vermindert, bleibt sie

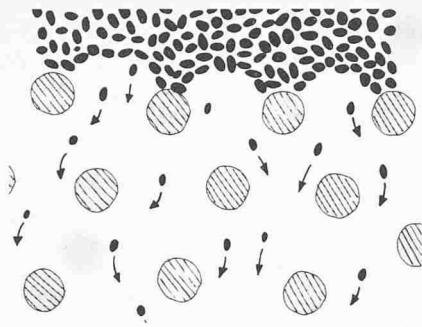
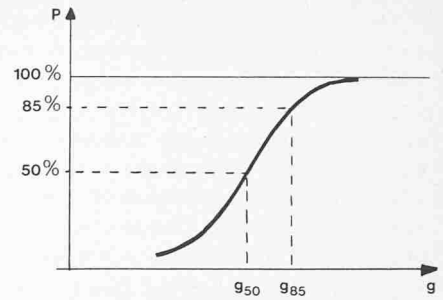


Bild 4 (links). Schematischer Schnitt durch einen ausschliesslich aus sehr feinen Partikeln bestehenden Boden im Kontakt mit einem Geotextil (dessen Faserquerschnitt durch schraffierte runde Flächen dargestellt wird): Entstehung stabiler Gewölbe nach dem Abgang einiger vom Wasser mitgeführter Partikeln

Bild 5 (rechts). Porometrieurve eines Bodens, aus der sich die Verteilung p (%) der Abstände g zwischen den Fasern ergibt (g_{50} und g_{85} : jeweils 50 und 85% entsprechende Abstände)



noch bei weitem grösser als die des umgebenden Bodens. Demzufolge arbeitet der Filter weiterhin einwandfrei.

Das Problem wäre völlig anders, wenn das Geotextil die Rolle des Dräns spielte. Die Durchlässigkeit eines Dräns durch 10 zu teilen hiesse nämlich, die von ihm zu transportierende Menge durch 10 teilen.

Zusammenfassend lässt sich vereinfachend sagen:

- das Risiko der Verschlämzung (Verstopfung) des Bodens ist vor dem Filter nur in gewissen Sonderfällen gross;
- die Verstopfung eines als Filter verwendeten Geotextils ist sehr begrenzt und praktisch wird seine Funktion nicht beeinträchtigt;
- die Verstopfung eines als Drän verwendeten Geotextils - obwohl begrenzt - kann nicht vernachlässigt werden und ist in den Durchflussmengenberechnungen zu berücksichtigen.

Daher ist das einzige auszuschaltende Problem die Verstopfung des Dräns und die Begrenzung der Bodenauschwemmung. Diese beiden Forderungen gehören zusammen und werden durch richtige Bemessung des Filters erfüllt.

Bemessung des Filters

Nach dem Gesagten hängt die Wahl der Öffnung des Filters von dessen Dicke, von der Bodengranulometrie und -kohäsion ab. Bleibt zu zeigen, wie die Öffnung des Filters gemessen wird. Handelt es sich um ein gewobenes Geotextil, so genügt es, die Maschenweite zu messen. Handelt es sich um ein ungewobenes Geotextil, so muss die Porometrieurve (Bild 5) gegeben werden, welche die Verteilung der Abstände zwischen den Fasern darstellt. Die sehr heikle Ermittlung dieser Kurve geschieht durch folgende Methoden:

- entweder durch direkte Messung und statistische Klassifizierung einer Vielzahl von Abständen zwischen den Fasern
- oder durch eine indirekte Messung, indem man Glaskügelchen sehr kleinen Durchmessers durch das Geotextil hindurchgehen lässt.

Die direkte Messung wird gegenwärtig nur im Rahmen der Forschung angewandt, während die indirekte Messung sich in allen Laboratorien durchführen lässt. Nach einigen Vergleichen scheinen die beiden Methoden zu fast übereinstimmenden Ergebnissen zu führen.

Einige Schlussfolgerungen und Vergleiche von experimentellen Untersuchungen, auf die wir hier nicht näher eingehen können, führen zu folgenden Näherungsregeln:

Looser Boden

Gewobenes Geotextil: $g \leq d_{85}$
 (mit g : Öffnung des Textils; d_{85} : Mass, das 85% der Kornverteilungskurve des Bodens entspricht)
 Dünnes, ungewobenes Geotextil: $g_{85} \leq d_{85}$
 Dickes, ungewobenes Geotextil: $g_{50} \leq d_{85}$
 (für g_{50} und g_{85} siehe Bild 5).

Fester Boden

Gewobenes Geotextil: $g < 50 \mu$
 Dünnes, ungewobenes Geotextil: $g_{85} < 50 \mu$
 Dickes, ungewobenes Geotextil: $g_{85} \leq 100 \mu$.

Diese Bedingungen sind nur Näherungen. Sie hängen von der Messmethode für die Öffnung g ab. Ausserdem müssen sie noch durch andere Versuche verifiziert werden. Praktisch dürfen sie nur (und auch hier noch mit Vorsicht) bei einem kompakten Boden und einem langsamen Wasserstrom angewandt werden (insbesondere sind durch Wellenschlag verursachte Wechselströmungen ausgeschlossen).

Diese Zusammenfassung einiger aktueller Vorstellungen über die Verstopfung veranschaulicht die extreme Schwierigkeit des Problems. Und noch haben wir weder von bestimmten chemischen und elektrischen Aspekten noch vom Risiko des Verstopfens durch Verdichtung eines sehr feuchten Bodens auf einem Geotextil gesprochen.

Der mechanische Boden-Geotextil-Verband

Die mechanischen Beanspruchungen

Die verschiedenen mechanischen Beanspruchungen, denen ein Geotextil ausgesetzt sein kann, sind in Bild 6 dargestellt. Hier sind mehrere Klassifizierungen möglich:

- Nach der Verteilung kann man folgende Paarungen («verteilt-konzentriert») definieren: «Druck-Durchstossung», «Zug-Einreissen», «Biegung-Faltung», «Reibung-Aufreissen»;

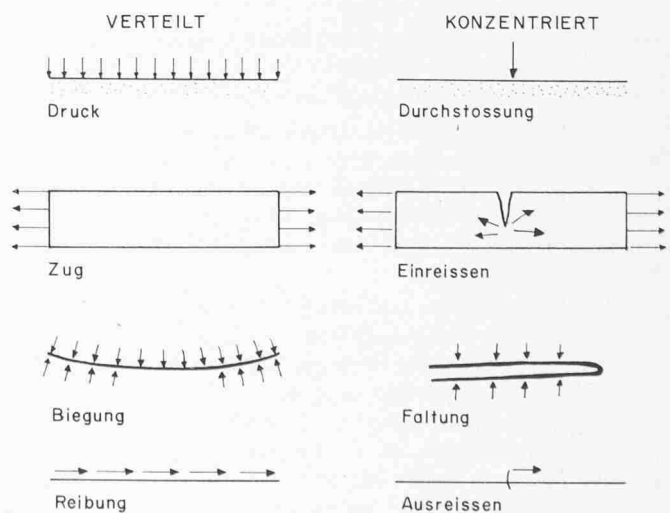


Bild 6. Klassifizierung der Beanspruchungen

– Nach der *Richtung*: senkrecht (Druck – Durchstossung und Biegung – Faltung) und in Richtung des Geotextils (Zug – Einreissen und Reibung – Aufreissen).

Ausserdem lässt sich feststellen, dass die Beanspruchungen vom Typ Biegung und Reibung sich im allgemeinen im Geotextil durch einen Zug manifestieren. Letzten Endes gibt es nur *zwei Grundbeanspruchungstypen*: *Druck* und *Zug*. Dazu lässt sich sagen, dass Geotextilien auf diese beiden Beanspruchungen sehr unterschiedlich reagieren:

– *Passives Ansprechen auf Druck*: die Dicke des Geotextils verringert sich ohne nutzbringende Wirkung für das Bauwerk (im Gegenteil).

– *Aktives Ansprechen auf Zug*: das Geotextil nimmt die für das umgebende Material (der Boden im allgemeinen, Beton manchmal, eine Kunststoffolie ziemlich oft...) unzulässigen Beanspruchungen auf.

Letztlich ist es also der Zug, der uns vor allem interessiert. Aber es kommt sehr selten vor, dass in einem Erdbauwerk ein Zug direkt auf das Geotextil ausgeübt wird. Im allgemeinen rühren die Zugbeanspruchungen entweder von Beanspruchungen des Typs Biegung oder von Beanspruchungen des Typs Reibung her.

Beanspruchung durch Biegung

Wird auf die beiden Seiten eines Geotextils ein unterschiedlicher Druck ausgeübt, biegt es sich durch, bis seine Spannung mit dem aufgegebenen Druck im Gleichgewicht steht. Stellt sich das Gleichgewicht nicht ein, so kommt es zum Bruch.

Das Ausmass der vom Geotextil eingenommenen *Krümmung* kann je nach Fall von einigen Zentimetern (Bild 7A) bis zu einigen Metern (Bild 7B) variieren. Geotextilien – besonders ungewobene – weisen eine *grosse Verformbarkeit* auf. Bei kleiner Krümmung (Bild 7A) kann das Geotextil müheelos eine grosse Dehnung, d.h. eine grosse Spannung, aufnehmen und demzufolge eine wichtige mechanische Rolle spielen. Bei grosser Krümmung und mässiger Setzung (Bild 7B) ist dagegen die Dehnung des Geotextils gering und seine mechanische Wirksamkeit in Frage gestellt.

Setzt man jedoch das Geotextil während des Einbaus unter *Vorspannung* und sorgt dafür, dass diese erhalten bleibt, so leuchtet es ein, dass das Geotextil einen höheren Druck aufnehmen kann. Durchgeführte Berechnungen zeigen folgendes:

– Bei einem wenig verformbaren Bauwerk wie einem Eisenbahngleis trägt das unter einer hohen Vorspannung stehende ungewobene Geotextil nur einen vernachlässigbaren Anteil der wirkenden Lasten.

– Bei einem stark verformbaren Bauwerk dagegen – z.B. eine Baustellenpiste (Bild 2, Beispiel 43) – kann das ungewobene Geotextil einen hohen Anteil der Last aufnehmen.

Analoge Berechnungen zeigen allerdings, dass im Fall einer wenig ausgedehnten Krümmung (Bild 7A) die Wirkung des Geotextils sehr wichtig ist. Es kommt z.B. nicht selten vor, dass aufgrund der von einem Geotextil bewirkten Unterstützung der Druck, dem eine Kunststoffabdichtfolie standhält, verzehnfacht wird.

Schliesslich treten wahrscheinlich bei *heterogenem Boden grössere örtliche Verformungen* auf, so dass das Geotextil in solchen Fällen eher eine wichtige mechanische Rolle spielen wird. Darin liegt vielleicht einer der Gründe, warum in den Versuchen am verkleinerten Labormodell, wo alles zu vollkommen, zu homogen ist, die Geotextilien eine oft weniger positive Wirkung haben als in der Natur. Die zu Beginn dieses Artikels erwähnte Uneinigkeit zwischen Forschern und Praktikern könnte damit im Zusammenhang stehen.

Beanspruchung durch Reibung

Konsultieren wir nochmals Tabelle 1. Die Rollen der Isolierung und der Armierung sind radikal verschieden. Und dennoch spielen bestimmte Geotextilien bald die eine dieser Rollen, bald die andere. Liegt hier ein Paradoxon vor?

Praktisch ist es selbstverständlich, dass der Reibungskoeffizient zwischen Boden und Geotextil höchstens gleich der inneren Bodenreibung ist (im allgemeinen etwas kleiner). Dies ist durch zahlreiche Experimente bestätigt worden. Demzufolge bildet ein Geotextil immer eine bevorzugte Gleitebene im Boden. Wenn die Struktur des Bauwerks und die wirkenden Kräfte so sind, dass die Bruchebene sich genau in der Ebene des Geotextils befindet, hat letztere eine negative mechanische Wirkung: sie schwächt das Bauwerk. Somit wäre es absurd, in einer durch ein Geotextil verstärkten Dammaufschüttung (Bild 2, Beispiel 42) die Armierungen um $45^\circ + \psi/2$ zur Horizontalen geneigt einzubauen (wobei ψ der Reibungswinkel des Bodens ist), weil diese Richtung genau der Bruchebene entspricht. Wünscht man aber, dass das Geotextil die Rolle der Isolierung spielt, so muss es genau in die Bruch- oder Gleitebene gelegt werden.

Tatsächlich spielt das Geotextil die *Rolle der Isolierung*, wenn es die beiden von ihm getrennten Körper mechanisch unabhängig voneinander macht, z.B. indem es ein unbehindertes gegenseitiges Gleiten der Körper ermöglicht. (Dies ist offensichtlich bei Beispiel 38 in Bild 2 der Fall.)

Der durch Beispiel 39 in Bild 2 dargestellte Fall ist wiederum ein wenig verschieden. Es handelt sich um den Schutz eines neuen Belages gegen die Ausbreitung der im unteren Belag vorhandenen Risse. In diesem Fall muss jegliches Gleiten des Geotextils, das eine Instabilität der Fahrbahn hervorrufen würde, verhindert werden. Das Geotextil muss daher auf den beiden Belagsschichten einwandfrei haften, weshalb es beim Öffnen der Risse auf Scherung beansprucht wird. Für diesen Anwendungsfall ist also ein ziemlich dickes Geotextil erforderlich, obwohl dessen Zusammenrückbarkeit bei zu grosser Materialstärke dem einwandfreien Verhalten der oberen Belagsschicht beim Überfahren durch Fahrzeuge abträglich wäre.

In bezug auf die Rolle der Armierung steht vor allem zur Diskussion wie die *Übertragung tangentialer Kräfte zwischen Boden und Geotextil* vonstatten geht. Es ist klar, dass die Rauheit eines Geotextils verschieden beurteilt werden kann. Auf der Stufe der Fasern ist die Oberfläche eines insbesondere ungewobenen Geotextils sehr rau. Dagegen bildet ein Geotextil in seiner Gesamtheit eine ziemlich gleichmässige, glatte Oberfläche.

Für eine gute Übertragung der Kräfte scheint es notwendig, dass die Grösse der Körner des Bodens, die unmittelbar mit einem Geotextil in Kontakt sind, in der Grössenordnung der Faserabstände liegt. Es geht also nicht darum, das Geotextil mit dem Boden in Kontakt zu bringen, der den höchsten Reibungskoeffizienten hat, sondern mit dem der aufgrund seiner Granulometrie das Geotextil am besten «festhakt».

Der Begriff der *granulometrischen Kontinuität zwischen Boden und Geotextilien* ist mit den Funktionsbedingungen der Filter zu vergleichen. Dies zeigt, dass die durch die Geotextilien gestellten Probleme nicht nur der Mechanik der kontinuierlichen Medien, sondern auch der Mechanik der granularen Medien unterworfen sind.

Schliesslich sei noch vermerkt, dass eine eventuelle mechanische Anisotropie des Geotextils im Fall einer Reibungsbeanspruchung sehr nützlich sein kann, während sie im Fall einer Biegebeanspruchung eher schädlich wäre. Desglei-

chen wäre die Bedeutung einer hydraulischen Anisotropie zu unterstreichen, falls das Geotextil die Rolle des Dräns spielt.

Zeitverhalten

Schliesslich muss man sich mit dem Zeitverhalten der beiden Partner des mechanischen Verbandes Boden-Geotextil befassen. Sehr schematisch lässt sich sagen: die Eigenschaften des Bodens (im Kontakt mit dem Geotextil) haben immer die Tendenz, sich mit der Zeit zu verbessern, und die Eigenschaften des Geotextils (im Kontakt mit dem Boden) neigen eher zur Verschlechterung.

Was den Boden betrifft, so können mindestens zwei positive Wirkungen des Geotextils genannt werden:

- Das Geotextil schützt den Boden vor Veränderungen während der Erstellung des Bauwerks, indem es die von den Baugeräten übertragenen Lasten verteilt.
- Bestimmte ungewobene Geotextilien, welche die Rolle des Dräns spielen, beschleunigen die Verfestigung des Bodens und tragen demzufolge zur Verbesserung seiner mechanischen Eigenschaften bei.

Was das Geotextil anbelangt, so seien zwei Ursachen für die zeitliche Veränderung der mechanischen Eigenschaften genannt:

- *Chemische Alterung*: kein gegenwärtiges Geotextil widersteht auf zufriedenstellende Weise einer längeren Lichteinwirkung; dagegen weisen alle guten Geotextilien einen Widerstand gegen das Einsinken in den Boden auf, der es ermöglicht, sie in für lange Zeit errichteten Bauwerken wie Erddämmen zu verwenden.
- Einige Geotextilien dehnen sich mit zeitlicher Abhängigkeit, wenn sie einer *konstanten Belastung* ausgesetzt sind. Es handelt sich um ein *temperaturabhängiges Kriechphänomen*, das bewirkt, dass die mechanische Armierungswirkung mit der Zeit nachlässt. Die Verwendung solcher Geotextilien als Armierung ist daher zu vermeiden.

Die kurze Untersuchung des Boden-Geotextil-Verbandes kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei Beanspruchungen des Typs «Biegung» können die vielzähligen örtlichen Heterogenitäten des Bodens eine bedeutende Rolle spielen, während man in den herkömmlichen Berechnungen der Geotechnik diese örtlichen Heterogenitäten vernachlässigt, indem man sie zu einer Gesamthomogenität zusammenfasst.
- Bei Beanspruchungen des Typs «Reibung» ist es die Anisotropie des Textils, die eine wichtige Rolle spielen kann.
- In allen Fällen können sich die Eigenschaften der Geotextilien mit der Zeit verändern, was bei Berechnungen berücksichtigt werden muss.

Bilanz und Zukunftsaussichten

Ein weiterer Grund des Erfolges

Warum sind die Geotextilien so erfolgreich? In der Einleitung haben wir die Antwort des Herstellers gegeben. Versuchen wir nun hier, auf *theoretischer Ebene* zu antworten.

Schematisch kann man sagen, dass die Geotextilien Erfolg gehabt haben, weil sie dem Boden eine gewünschte Heterogenität sowohl bei den Wasserproblemen als auch im mechanischen Verband Boden-Geotextil verschafft haben. Die gleiche Idee findet man in den anderen Problemen der Geotechnik wieder. Zum Beispiel hat man bei Erdschüttungs-dämmen Fortschritte erzielt, als man von Dämmen aus homogener Erde zu heterogenen Dämmen überging. Der Nutzen der Heterogenität rührte von der Trennung der

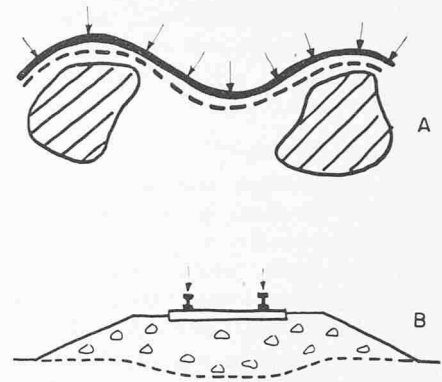


Bild 7. Biegebeanspruchungen. A: in kleinem Massstab, wenn das Geotextil die Rolle der Unterlage einer Abdichtfolie spielt, auf die der Wasserdruck wirkt (Abstand zwischen den Kieseln in der Grössenordnung eines Zentimeters); B: in grossem Massstab unter der Bettung eines Eisenbahngleises

Funktionen her: Boden und Geotextil spielen je eine getrennte, spezifische Rolle (siehe Tabelle 1).

Mit den Geotextilien wird die Heterogenität sehr ausgeprägt: Einschluss eines zweidimensionalen Mediums in einen dreidimensionalen Körper. Die Mechanik der kontinuierlichen Medien ermöglicht die Behandlung der daraus sich ergebenden Probleme. Da aber der dreidimensionale Körper aus Körnern und das zweidimensionale Medium aus Fasern besteht, muss die Mechanik diskreter Medien (Teilchen und Fasern) miteinbezogen werden, um bestimmte Probleme wie die Filtration oder die Reibung zu behandeln.

Die Untersuchung der durch ein Geotextil in einem Boden bewirkten Heterogenität und die Mechanik diskreter Medien sind zwei Wege der Forschung, die in den kommenden Jahren ihre Früchte tragen dürften.

Preis des Erfolges

Man kann es sich heute nicht mehr erlauben, die Geotextilien zu ignorieren. Also setzt man sie ein, ohne immer zu wissen, warum.

Einmal mehr hat sich auch hier die *Mode* der Textilien bemächtigt! Aber diese Vernarrtheit, selbst wenn sie zum Umsatz in dieser Branche beiträgt, birgt die Gefahr von *Rückschlägen* in sich. Ausserdem werden die Anwender durch die Zahl und die Komplexität der Versuche in Verwirrung gebracht. Manche werden überhaupt auf Versuche verzichten, indem sie sich sagen, dass aufgrund der ersten Erfolge nicht mit grossen Problemen zu rechnen ist. Darauf kann man zwei Dinge erwidern:

- Man kennt weder die Erfolge der ersten Anwendungen noch die Fehlschläge.
- Bei der Wahl einer Million Quadratmeter Geotextil für ein Grossprojekt bestehen andere Voraussetzungen als bei der «Notreparatur» einer Baustellenpiste.

Es ist daher wichtig, die notwendigen Massnahmen sinnvoll zu treffen, die Art ihrer Durchführung festzulegen und die verlangten Ergebnisse zu spezifizieren. Da wir diese Fragen hier nicht behandeln können, verweisen wir den Leser auf die zu diesem Thema bereits veröffentlichte Untersuchung *J. P. Giroud und J. Perfetti*: «Classification des textiles et mesure de leurs propriétés en vue de leur utilisation en géotechnique» (Klassifizierung von Textilien und Messung

ihrer Eigenschaften im Hinblick auf ihre Verwendung in der Geotechnik), Berichte vom internationalen Kolloquium über die «Anwendung von Textilien in der Geotechnik», S. 345–352, Paris, 1977.

Im Sinne des Fortschritts

Der gegenseitige Kontakt verschiedener Forschungsgebiete, wie er durch die Untersuchungen an Geotextilien hervorgerufen worden ist, hat sich besonders auf die traditionelle Geotechnik positiv ausgewirkt. Die Zusetzung von Sanden beispielsweise wurde erst so gründlich untersucht, seit man sich mit der Zusetzung von Textilien befasst.

Die Heterogenität und die zweidimensionale Kontinuität, die vom Geotextil in den Bodenkörper eingebracht werden, machen es möglich, das übliche Konzept der Bau-

werke zu ändern. Man kann sogar bis zur Änderung des üblichen Sicherheitsbegriffs der Bauwerke gehen, indem man Einrichtungen ersinnt, die Nutzen aus bestimmten Vorteilen der Geotextilien ziehen und automatisch nach bestimmten, im voraus vorgesehenen Katastrophenabläufen funktionieren. Das Geotextil ist ein Baustoff für eine in Entwicklung befindliche Geotechnik. Schliesslich ist es klar, dass viele Fortschritte, insbesondere in bezug auf die Versuchsmethoden, nur in enger Zusammenarbeit zwischen Herstellern und Forschungsinstituten – und zwar auf internationaler Basis – erzielt werden können. Der Geotechniker wird sich in Zukunft nicht nur mit den Eigenheiten des Bodens, sondern auch mit den Herstellern der Geotextilien herumschlagen müssen. Es besteht jedoch kein Zweifel: Textilien sind auch im Bereich der Geotechnik als ein Fortschritt zu betrachten.

Österreichischer Betontag 1978

Unter den über 260 Teilnehmern am österreichischen Betontag in Bad Ischl waren Personen aus Forschung, Lehre und wirtschaftlicher Praxis aus Belgien, Deutschland, Frankreich, Holland, Jugoslawien, Schweden, Schweiz und Ungarn. In der Eröffnungsansprache wurde auf die *Öffentlichkeitsarbeit* (insbesondere bei Schadenfällen), die *Aus- und Weiterbildung von Betoningenieuren* (jetzt eigenes Berufsbild) sowie die *Forschung und Entwicklung* innerhalb der Bauwirtschaft eingegangen, die in der Bauindustrie zu gering und zusammenhangslos, von Zufälligkeiten gekennzeichnet und auf die Augenblickssituation abgestellt ohne Zukunftsorientierung sei. Der Ingenieur wurde an seine umfassende technisch-wissenschaftliche und wirtschaftlich-politische Verantwortung erinnert. Deshalb behandelten die Vorträge bewusst einige Themen von grosser Aktualität wie sicherheitstechnische Belange bei Kernkraftwerken, Entwurfsbedingungen im oberirdischen Behälterbau, ebenso wie den Bericht über Untertagebauten aus Schweden. – Während der Tagung wurde ergänzend dazu eine umfassende *Informationsschrift des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz über Kernenergie und Sicherheit* verteilt. – Weitere

Schwerpunkte bildeten die Vorträge über den Bau von Autobahn- und Eisenbahnbrücken, Fahrbahndecken von Betonstrassen und Bauteile aus Schleuderbeton sowie über Flugaschезement und Normung.

Brückenbau

Die Vortragsreihe begann *Alfred Pauser*, Zivilingenieur in Wien, über *weitgespannte Brücken in Betonbauweise*. Der Übergang von individuellen Lösungen zu wohldurchdachten, systematisierten und hochmechanisierten Ausführungsmethoden kommt uns heute bei grösserer Wirtschaftlichkeit als auch grösserer Sicherheit zugute. Der gebrachte Überblick (Bild 1) über Ausführungsarten im Grenzbereich gestattet die optimale Lösung der Bauaufgaben.

Martin Fenz, Bauges. H. Rella, Wien, sprach über *Grossbrückenbauten im Liesertal* (Tauernautobahn). Wegen schwieriger geologischer Verhältnisse und sehr steiler Talflanken muss im Abschnitt Rennweg-Gmünd die Autobahn auf zwei Drittel der Streckenlänge über Brücken geführt und etwa 8 km Brücken bei Bauloslängen bis zu 2,6 km in nur drei Jahren hergestellt werden. Anhand einer Reihe verschiedener Bauwerke werden die Verwendung schwerer Vorschubrüstungen, der Freivorbau mit Vorschubrüstung und in klassischer Bauweise mit Vorbauwagen sowie die Anwendung des Takt-schiebeverfahrens erläutert. Zur Abkürzung der Bauzeit werden für die Überbauten auch Stahlbeton- und Spannbetonfertigteile verwendet. – *Fritz Muchitsch*, Linz, berichtete über den *Talübergang Donnergraben* (Tauernautobahn). Wegen schwieriger Gründungsverhältnisse und der Talform wurden als Überbau zwei getrennte siebenfeldrige, längsverschiebliche Rahmentragwerke mit 14,50 m breitem einzelligem Hohlkasten mit 4,60 m Konstruktionshöhe ausgeführt. Die beiden 460 m langen Tragwerke liegen im Bogen mit 850 m Halbmesser und haben unterschiedliches Längsgefälle und verschiedenen Abstand voneinander. Wegen der grossen Höhe über Gelände (bis 85 m) wäre eine Vorschubrüstung für den feldweisen Vorbau bei Einzelstützweiten bis zu 69 m zu aufwendig gewesen. Verwendet wurde ein bereits vorhandener 85 m langer Rüstträger (MSF-Gerät) und damit von den Pfeilern aus symmetrisch 5,20 bis 6,40 m lange Vorbauabschnitte betoniert (ein Brückenfeld in sechs Wochen). Die Gesamtbauzeit wird drei Jahre betragen. Die Baustelle wurde während der Tagung besichtigt. – *Wolfgang Köhler*, Bauges.

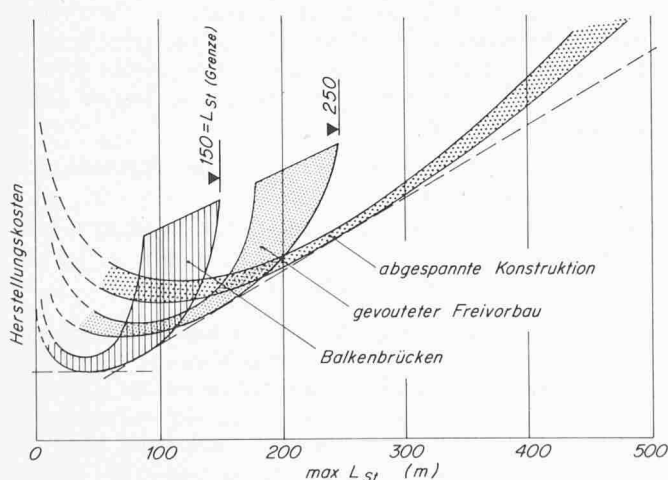


Bild 1. Grenzwerte für Herstellungskosten und Spannweiten verschiedener Brückenarten