

ZITSCHER, F.-F., Universität Hannover, BRD

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG VON KUNSTSTOFFEN IM ERD- UND WASSERBAU
RECOMMENDATIONS ON THE USE OF PLASTIC MATERIALS IN FOUNDATION AND
HYDRAULIC ENGINEERING
RECOMMANDATIONS POUR L'USAGE DES MATERIAUX SYNTHETIQUES DANS LE GENIE CIVIL
ET LE GENIE HYDRAULIQUE

Die Entwicklungsgeschichte der Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau ist nur etwa 30 Jahre alt. Gemessen daran, über welche großen Zeiträume sich die Erfahrungen mit herkömmlichen Baustoffen haben entfalten können, verfügen wir heute dennoch beim Bauen mit Kunststoffen über verhältnismäßig viele Erkenntnisse. Eine Reihe von Leitsätzen hilft mit, dies herauszustellen.

The history of development concerning the use of plastic materials in the foundation and hydraulic engineering is only about 30 years old. Present-day knowledge in this field, however, is relatively large, especially when one considers the long period of time during which experiences with commonly used building materials evolved. This will be illustrated by the way of a number of introductory sentences.

1. EINFÜHRUNG

Stets wenn wir feststellen, daß auf einem bestimmten Gebiet der Naturwissenschaften

- die Entwicklungsgeschichte,
- die daraus erwachsene Lehre und Forschung sowie
- Erkenntnisse, Erfahrungen und
- deren Entfaltung zur praktischen Anwendung

zu einem Ganzen haben werden können, dann spiegelt sich darin der harmonische Ablauf eines "lebendigen" Geschehens wieder. Das Höchstmaß an Wohlklang eines solchen Vorganges nimmt sicherlich die Evolution des Lebens auf unserem Planeten in Anspruch (1).

Bei dem Ihnen vorzutragenden Problem handelt es sich um die Erarbeitung der Bilanz einer Entwicklung, die wegen der zeitlich kurzen Wegstrecke zwar relativ einfach zu beschreiben ist, jedoch wegen des dadurch bedingten Fehlens eines harmonischen Ablaufs recht komplizierte Kennzeichen trägt.

Wenn es dem einen oder anderen nicht schon bei früheren Fachkongressen aufgefallen ist, so wird es spätestens durch den diesjährigen deutlich, daß uns Fachleuten, die etwas von Kunststoffen verstehen, eine Philosophie fehlt, eine Philosophie, die vor allem dazu führen sollte,

- das Fehlen einer Entwicklungsgeschichte auszugleichen und die
- Lücken in der Lehre und Forschung zu schließen.

Hierdurch wird es glücken, den Wohlklang, von dem

ich sprach, trotz einer stürmischen, sich zum Teil überstürzenden Entwicklung zu bewirken. In diesem Sinne erhalten die Fachthemen des heutigen Fachkongresses eine besondere Bedeutung, indem wir mit ihnen die weiterführenden Schritte tun, nämlich

- Erkenntnisse und Erfahrungen austauschen, um daraus
- Folgerungen für die Entfaltung zur praktischen Anwendung herzuleiten.

Die "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau" sind durch eine sich ständig erweiternde bzw. sich zum Teil erneuernde Gruppe von Fachleuten seit 1973 erarbeitet worden. Sie sind zusammengefaßt als Arbeitskreis der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau, die inzwischen als Facharbeitskreis auch dem Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) angehört.

Die "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau" sind kürzlich in der Buchreihe "DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft" erschienen. Damit liegt eine umfassende Veröffentlichung vor, die auf Fachaufsätzen der Jahre 1975, 1979 und 1982 (2, 3, 4) aufbaut sowie bisher vorliegende Untersuchungsergebnisse ausgewertet und praktische Erfahrung heranzieht (5, 6).

Einige der Fachleute des Arbeitskreises haben für diesen Kongreß persönliche Referate übernommen, und so werden auch Einzelbereiche aus dem weiten Spektrum des fachbezogenen Inhalts anklingen, die in den "Empfehlungen" angesprochen werden.

Mein Bericht hat zum Ziele, Sie über den Stoff, den

die "Empfehlungen" verarbeitet haben, in der Weise zu informieren, daß die dabei gewonnenen Erkenntnisse hervortreten, die neben dem eigentlichen Sachinhalt auch Ansätze für eine - wie ich ausgeführt habe - wünschenswerte Philosophie beinhalten. Ich leite daraus folgende Aussagen her, die den Kern solcher Erkenntnisse bilden.

2. LEITSÄTZE FÜR DEN SCHUTZ EROSIONSGEFÄHRDETER BÖDEN

1. Die an Geotextilien zu stellenden Anforderungen richten sich nach der vorgesehenen Funktion und nach den Eigenarten des jeweiligen Anwendungsreiches. - Es wird eine ausreichende Langzeitbeständigkeit gegenüber den umgebenden Medien und den maßgebenden Belastungen gefordert.

Ein beschädigungsfreier Einbau des Geotextils ist konstruktiv und durch die Bauausführung sicherzustellen. Gegebenenfalls ist eine Schutzschicht anzuordnen.

2. Bei der Bewertung der Langzeitbeständigkeit von Geotextilien sollte grundsätzlich beachtet werden, daß die Schädigungsmöglichkeit einer Faser bzw. eines Fadens mit zunehmender Dicke abnimmt, da die äußeren angegriffenen Schichten den Kern schützen. - Bei fast allen eingesetzten Rohstoffen müssen bezüglich der einen oder anderen Eigenschaft Einschränkungen eingeräumt werden, so daß die Auswahl ggf. nach den spezifischen Anforderungen des vorgesehenen Einsatzbereiches getroffen werden muß.

3. Der Einsatz von Geotextilien als Filter- und Trennschicht erfordert eine Abstimmung seiner Porenstruktur auf die zurückzuhaltenden Korngrößen des zu schützenden Bodens (mechanische Filterwirksamkeit). Das Bodenrückhaltevermögen läßt sich durch die sogenannte wirksame Öffnungsweite D_w als kennzeichnende Größe beschreiben.

Von dem als Filterschicht auszuwählenden Material müssen die naturbedingt gegenläufigen Bedingungen der mechanischen Filterwirksamkeit (Bodenrückhaltevermögen) und der hydraulischen Filterwirksamkeit (druckfreie Ableitung von Sickerwasser) erfüllt werden.

4. Sofern eine hinreichend genaue Abschätzung der einwirkenden Kräfte (hydrostatische/hydrodynamische Drücke) und der Fließgeschwindigkeit nicht möglich ist, empfiehlt sich eine strenge Bemessung der mechanischen Filterwirksamkeit. Ihre sichere Auslegung erlaubt hohe hydrostatische/hydrodynamische Belastungen des Boden-Filterystems. - Etwa auftretende hydraulische Drücke müssen von der Gesamtkonstruktion schadlos aufgenommen werden können.

5. Statische Belastungen resultieren aus quasistationären Randbedingungen für die Fließzustände in der Filterschicht. Dies ist gegeben bei langperiodischen Schwankungen der Außen- und Grundwasserspiegel mit geringem hydraulischen Gradienten und laminarem Fließzustand. Nach einer Anfangsphase treten in der Grenzschicht Geotextil/Boden keine nennenswerten Kornumlagerungen mehr auf.

6. Gewebe eignen sich bei statischer Belastung vor allem für den Einsatz auf ungleichförmigen Böden, da sich hier in aller Regel ein der Grenzschicht Geotextil/Boden ein stabiler Sekundärfilter aufbaut. Bei hohen Anforderungen an die Filterwirksamkeit sollen Gewebe mit hoher Schiebefestigkeit eingesetzt werden.

7. Dynamische Belastungen sind gekennzeichnet durch kurzperiodisch wechselnde Strömungsrichtungen und turbulenten Strömungsangriff auf die Filterschichten. Sie treten z. B. bei seegangsbelasteten Deckwerken im Küstenschutzbereich oder an Böschungen und Sohlen von Schiffahrtskanälen auf. Bei dynamisch belasteten Filtern ist die Randbedingung eines sich bildenden Sekundärfilters in der Regel nicht gegeben.

8. Damit ein Geotextil hydraulisch wirksam ist, ist es erforderlich, daß seine Wasserdurchlässigkeit nach Aufbau des Sekundärfilters in der Grenzschicht Geotextil/Boden im Vergleich zu der des anstehenden Erdstoffes gleich oder größer ist, um das anfallende Sickerwasser möglichst drucklos durch das Geotextil abführen zu können. Hierbei ergibt sich, wie bei mineralischen Filtern, zwangsläufig eine Abminderung der Durchlässigkeit des reinen Geotextils infolge Bodenkontakt (Feinteileinlagerung, Tiefenfiltration).

9. Bei der Forderung nach langfristig zu sichernder Wasserdurchlässigkeit ist zu beachten, daß sich der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert durch das Blockieren von Gewebeöffnungen durch Bodenteilen (blocking) zum Teil vermindern kann. Dieser Einfluß kann durch die Bestimmung eines Abminderungsfaktors für den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert berücksichtigt werden.

10. Unter dem Druck von Auflasten wird die wirksame Öffnungsweite von Vliesstoffen verringert. Die gleichzeitig auftretende Verringerung der Wasserdurchlässigkeit kann durch geeignete Laborprüfung bestimmt werden. Bei der Bewertung der langfristig zu fließenden Wasserdurchlässigkeit ist zu beachten, daß sich der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert durch das Einwandern von Bodenteilen in den Vliesstoff (clogging) verringert. Zur Abschätzung dieses Einflusses sind erste Ansätze bekannt.

11. Für die Dränwirkung ist eine Wasserdurchlässigkeit auch in der Ebene des geotextilen Filters Voraussetzung. Für diesen Zweck kommen deshalb nur dickere Vliesstoff-Filter infrage. Die Wasserdurchlässigkeit in der Ebene kann über die Transmissivität als Produkt des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes in der Geotextil-Ebene und der Dicke, jeweils als Funktion der Auflast, berechnet werden.

12. Wie bei mineralischen Filterschichten ist auch bei geotextilen Filtern die Dicke und Abstufung von erheblichem Einfluß auf die langfristige mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit. Mit zunehmender Beanspruchung wird eine größere Gesamtschichtdicke erforderlich.

Bei Verbundstoffen können die günstigen Eigenschaften einzelner Geotextilien miteinander kombiniert werden. Verbundstoffe bestehen z. B. aus einer Feinfilterschicht, einer Vorfilterschicht mit gröberer Faserreinheit und ggf. einer Stabilisierungsschicht, die durch ihre Rauigkeit den Bodenkontakt fördert.

13. Als Problemböden werden solche Böden betrachtet, die erhebliche Anteile im Schluff- und Feinsandbereich aufweisen, jedoch nur geringe kohäsive Eigenschaften haben, so daß bei entsprechender Beanspruchung von einer hohen Mobilität der Einzelkörner auszugehen ist.

14. Filtertechnische Probleme können auch bei Böden auftreten, deren Körnungslinie weit gefächert ist und Fehlkornbereiche aufweist. Bei entsprechenden Böden ist auf die Suffosionssicherheit, der Sicherheit

gegen Ausspülen von Feinteilen aus dem Grobskelett des Bodens, zu achten.

15. Für die Anwendung der Geotextilien zur Sicherung und Befestigung von Böschungen und als Filter bei Entwässerungsaufgaben ist der Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit erforderlich, da die Standsicherheit und Funktion des Bauwerkes davon maßgeblich beeinflusst werden.

3. LEITSÄTZE FÜR DIE HERSTELLUNG VON ABDICHTUNGEN

1. Die Arbeiten zur Erstellung von Abdichtung sind von erfahrenen und leistungsfähigen Firmen auszuführen. Die Dichtungsarbeiten müssen so durchgeführt werden, daß die Dichtung einschließlich etwaiger Bauwerksanschlüsse und Nahtverbindungen eine insgesamt dichte Schicht mit ausreichender Festigkeit und Verformbarkeit bildet. Die jeweiligen werkstoffspezifischen Einbauvorschriften der Hersteller sind bei der Arbeitsweise zu beachten.
2. Die Überwachung beim Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen umfaßt alle Arbeitsbereiche auf der Baustelle. Insbesondere sind zu überprüfen:
 - das Planum auf Ebenflächigkeit und Tragfähigkeit des Bodens,
 - die Anlieferung und Zwischenlagerung der Dichtungsbahnen bezüglich höchstmöglicher Schonung des Materials,
 - das fachgerechte Verlegen der Dichtungsbahnen, insbesondere bei Anschlüssen und Durchdringungen sowie
 - der einwandfreie Einbau der Schutzschichten.
3. Sofern während der Erd- und Verlegearbeiten von Planungsangabe abweichende Baugrundverhältnisse angetroffen werden, ist die Eignung des Baugrundes zu überprüfen und erforderlichenfalls sind entsprechende Maßnahmen zu treffen.
4. Es ist notwendig, nicht nur allgemeine Anforderungen an die Werkstoffe zu beachten, sondern die beim konkreten Anwendungsfall wirksamen Beanspruchungsfaktoren zu ermitteln. Sofern die auftretenden Beanspruchungen nicht hinreichend genau ermittelt werden können, sind ausnahmsweise zugelassene Abschätzungen mit genügend Sicherheitszuschlägen zu versehen.
5. Die Anforderungen an den Reibungsbeiwert hängen vom Anwendungsfall ab. In jedem Fall ist dafür zu sorgen, daß der Reibungsbeiwert der Dichtungsbahnen zum Untergrund bzw. zur Unterlage nicht kleiner ist als zu den obenliegenden Abdeckschichten.
6. Bei der Beurteilung des mechanischen Verhaltens von Kunststoffdichtungsbahnen sind sowohl "Verformungsfähigkeit" als auch "Kraftaufnahme" zu berücksichtigen. Diese Kenngrößen können je nach Anwendungsfall eine unterschiedliche Bedeutung haben.
7. Die zeit-, temperatur- und spannungsabhängige Zunahme von Verformungen wird mit dem Kriechverhalten beschrieben, an das anwendungsbezogen unterschiedliche Anforderungen gestellt sein können.
8. Für einzelne Lastfälle muß nachgewiesen werden, daß durch Kriechvorgänge die zulässigen Verformungen nicht überschritten werden. Dies gilt beispiels-

weise für Lastfälle aus dem Eigengewicht auf Böschungen, soweit diese nicht über Reibung in den Untergrund übertragen werden, oder beim Anschluß an Festbauwerke.

9. Ein ausreichender Perforationswiderstand (mechanische Durchschlagfestigkeit) soll insbesondere punktförmige Beanspruchungen während der Bauzeit abdecken. Dabei wird die hohe Verformungsgeschwindigkeit, mit der solche Beanspruchungen auftreten können, bei der Versuchsdurchführung berücksichtigt.
10. Dichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen setzen sich aus unterschiedlichen Schichten zusammen, nämlich im einfachsten Fall (von unten nach oben) aus
 - Stützschicht,
 - Dichtungsschicht und
 - Schutzschicht.
11. Die Stütz- oder Feinplanumsschicht bildet die Auflage für die Dichtungsbahnen. Sie soll unzulässige mechanische Belastungen verhindern und für eine gleichmäßige Beanspruchung sorgen. Sie ist bezüglich ihrer Dicke und Körnung auf die Dichtungsbahn abzustimmen.
12. Die Dichtungsschicht muß, soweit sie die Beanspruchungen, die auf die Oberfläche des Dichtungselements ausgeübt werden, nicht voll übernehmen kann, eine Schutzschicht erhalten. Solche Beanspruchungen können ultraviolette Licht, Hitze, Frost, Eisgang, Sandschliff und Beanspruchungen aus Begehen oder Befahren sowie aus ungleichmäßigen Auflasten sein.
13. Die Mindestnennstärke von Kunststoffdichtungsbahnen beträgt 2,0 mm. Die weitere Abstufung der einzelnen Nennstärken erfolgt in Abständen von 0,5 mm. Die zulässigen Abweichungen des Mittelwertes betragen $\pm 5\%$, die des kleinsten Einzelwertes 10% der jeweiligen Nennstärke.
14. An die Verbindungen der Dichtungsbahnen werden prinzipiell die gleichen Anforderungen wie an die Dichtungsbahnen selbst gestellt. Die Verbindungen müssen in jedem Fall dauerhaft dicht und so hergestellt und beschaffen sein, daß sie alle mechanischen Beanspruchungen, die in der Dichtungsbahn auftreten können, übertragen können. Die Festigkeit der Verbindungen wird bei den Kunststoffbahnen im allgemeinen mit einem Schweißfaktor beschrieben.
15. Die Dehnungs- und Anschlußelemente sollen in der Regel in Aussparungen erst kurz vor Ausführung der Dichtungsarbeiten eingebaut werden. Das Einbetonieren der Dichtungsbahn in den Erstbeton ist unzulässig, da bei Beschädigungen eine Ausbesserung praktisch nicht möglich ist. Hingegen ist das Einbetonieren von Anschlußelementen zulässig. Stets ist darauf zu achten, daß in Anschlußkonstruktionen kalter Fluß entstehen kann und daß eine Verträglichkeit zwischen Verbindungsmittel und Dichtungselement gegeben ist.

4. AUSBLICK

Sofern es mir gelungen ist, durch die vorstehenden Leitsätze aufzuzeigen, daß das Planen und Bauen mit Kunststoffen eigenen Grundregeln folgt, die mit denen bei der Verwendung herkömmlicher Baustoffe natürlich verwandt sind, sich aber in wichtigen Merkmalen davon unterscheiden, dann ist meine heutige Mission erfüllt. Dann darf ich davon ausgehen, daß meine Gedanken aus einer eigenen 30jährigen Erfahrung mit der praktischen Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau dazu beigetragen haben, Ihnen die Ergebnisse der Bearbeitung von Empfehlungen durch eine Gruppe von Fachleuten auch aus der Sicht einer "Philosophie" nahebringen zu können.

LITERATUR:

1. Zitscher, F. F. "Die Bedeutung unseres Wassers im Universum", Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 75. Band 1981, S. 151 - 169
2. Zitscher F. F. "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau", Die Bautechnik 52 (1975), H. 12
3. Zitscher, F. F. "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau", Die Bautechnik 56 (1979) H. 4
4. Zitscher, F. F. "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau", Die Bautechnik 59 (1982) H. 5, S. 145 - 151 und H. 6, S. 181 - 208
5. Zitscher, F. F. "Kunststoffe für den Wasserbau", Bauingenieur-Praxis, H. 125, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin
6. Riegger, R.
Amann, J. F.,
Jaecklin, F. P. "Das Geotextilhandbuch", Hrsgb. Schweizerischer Verband der Geotextilfachleute (SVG), Druck und Verlag: VOGT-SCHILD AG, Solothurn