

Sofortiger und dauerhafter Erosionsschutz mit Geokunststoffen im Bereich von Fließgewässern

Dipl.-Ing. (FH) Jan Retzlaff
Colbond Geosynthetics GmbH, Obernburg

Dipl.-Ing. (FH) Ulrike Jäckel
Colbond Geosynthetics GmbH, Mittweida

1 Einleitung

Erosionsschutz ist ein Thema in dem verschiedene ingenieurtechnische Disziplinen ineinander greifen. Sie haben jedoch eines gemeinsam, es geht darum eine Böschung oder einen Hang zu schützen bzw. so zu gestalten, dass sein Äußeres sich der Umgebung weitestgehend einpasst, das Bauwerk aber trotzdem zweckdienlich ist. Die Natur selbst stellt dabei die Anforderungen an das Bauwerk. Das sind zum einen die Beanspruchungen die in den Eigenarten des Gewässers zu sehen sind und zum anderen das ökologische System in dem sich die Böschung befindet. Diesen Ansprüchen kann in vielen Fällen mit einer Symbiose aus dem richtigen Geokunststoff und einer ortstypischen Vegetation genüge getan werden.

2 Erosionsformen

2.1 Allgemeines

Im Wesentlichen werden Erosionen durch Wasser und Wind verursacht. Bei der Frage der oberflächennahen Erosion lassen sich die hier behandelten Erosionsformen gegenüber anderen Versagensmechanismen nicht durch die Angabe von Höhen und Schichtdicken abgrenzen, da die verschiedenen Erosionsformen in unterschiedlichen Tiefen und unter verschiedenen Gegebenheiten stattfinden. Als Erosion im Sinne dieser Abhandlung soll der Sedimenttransport und die Umlagerung durch verschiedene Einwirkungen wie Wasser und Wind aufgrund zu geringer rückhaltender Kräfte der Bodenteilchen verstanden werden. Den Definitionen in [1] folgend entspricht dies hauptsächlich der äußeren Erosion bei der die Einwirkung der Schleppkraft des Oberflächenwassers ursächlich ist. Dabei kann es sich um Regenwasser, an die Oberfläche tretendes Grund- oder Schichtenwasser oder Wasser aus offenen Gewässern handeln. Letzteres schließt Fließbewegungen und Wellenschlag mit

ein. Somit umfassen die hier gemachten Ausführungen folgende von Wasser beeinflusste Erosionsformen nach [4]:

- Quellerosion durch fallende Quellen
- Seitenerosion als Form der Linienerosion
- Flächenspülung
- Abrasion

Die Suffossionsgefahr, die bei Sand-Kiesgemischen mit Feinsand- und Schluffanteilen auftreten kann, ist eine Form der inneren Erosion, die über den Widerstand der Kornkontakte mittels Filterregeln geometrisch abgeschätzt werden kann. Hier ist zwar die Verwendung von Filtervliesstoffen eine übliche Lösung, die auch in verschiedenen Empfehlungen, wie z.B. [1] Eingang gefunden hat, die jedoch nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung sein sollen.

Diese Aufzählung ist nicht vollständig. Sie berücksichtigt nicht die Erosionsformen, die der Kontakterosion und der inneren Erosion zugeordnet werden, die aufgrund ihrer Entstehung oder ihres Wirkmechanismus durch die im Folgenden beschriebenen geosynthetischen Erosionsschutzmatten eher nicht eingedämmt werden können.

Geokunststoffe der vorgestellten Art bieten auch bedingt Schutz gegenüber Winderosion.

Die nachfolgend in Anlehnung an [4] kurz umrissenen Erosionsformen wirken an der Oberfläche bzw. oberflächennah. In diesem Beitrag wird nicht explizit zwischen zu schützenden natürlichen Hängen und künstlich geschaffenen Böschungen unterschieden. Die dargestellten Charakteristika sollen es ermöglichen die einzelnen Erosionsformen zu differenzieren. Dies ist besonders wichtig um das Gefahrenpotential möglicher Erosionen abschätzen zu können und präventive Maßnahmen zu treffen.

2.2 Quellerosion durch fallende Quellen

Grund- oder Schichtenwasser, das an den Böschungen oder Wänden an die Oberfläche tritt, führt im unmittelbaren Austrittsbereich zu einer Auflockerung der Kornstruktur, da Fein- und Feinstteile ausgespült werden und somit die Lagerungsstabilität des Bodens herabsetzen. Mit dem Beginn der Quellerosion durch fallende Quellen besteht auch die Gefahr des sich ausdehnenden Erosionseinflusses entlang des Quellflusses unter der Oberfläche. Gegenüber dieser rückschreitenden Erosion sind besonders Sande und Sand-Kies-Gemische gefährdet.

Dieser Erosionsform ist auch der Fließsand zuzuordnen, der unter erhöhtem Porenwasserdruck steht und im Anschnitt zu Ausspülungen und Lagerungsveränderungen des umliegenden Materials führen kann.

2.3 Seitenerosion

Längs zur Fließrichtung von Gewässern und ausgetretenen Grundwasserstößen kann es zur linienförmigen Erosion durch strömendes Wasser und auflaufende Wellen kommen. Quellaustritte können diesen Vorgang noch verstärken, insbesondere dann, wenn der Wasserstand fällt. Gegenüber der Seitenerosion bieten Uferbauwerke und –befestigungen Schutz, die in der Lage sind die Energie des Wellenschlages zu absorbieren und gleichzeitig ein Ausspülen des Untergrundes verhindern.

2.4 Flächenspülung

Diese flächenhaft wirkende Erosionsform, die durch Niederschläge hervorgerufen wird, tritt besonders an der Oberfläche von unbewachsenen Böden ohne Kohäsion auf. Sie ist die am häufigsten auftretende Erosion. Grundsätzlich sind die meisten Hänge und Böschungen ohne weiteren Schutz der Denudation und der Rillenbildung durch abfließendes Niederschlagswasser ausgesetzt.

2.5 Abrasion

Die Veränderung von Küsten- und Uferformen durch den Einfluss des Wellenschlages wird als Abrasion bezeichnet. Diese Küstenerosion ist wesentlich von den Profilen des Vorlandes abhängig. Die dadurch entstehenden Wellenformen haben verschiedene Energieniveaus und lösen deshalb mit unterschiedlicher Intensität Bestandteile aus dem Verbund des Uferbereiches heraus.

3 Ansätze für die Dimensionierung

3.1 Allgemeines

Obwohl es für das hier vorgestellte Verfahren zum oberflächennahen Erosionsschutz bereits 30 Jahre zurückreichende Erfahrungen gibt, stehen keine allgemein anerkannten analytischen Berechnungsverfahren zur Verfügung. Die Ansätze, die in Gleichung [1] nach Davidenkoff für die Einflussfaktoren der Kontakterosion zitiert werden, können auch in abgewandelter Form auf die äußere Erosion projiziert werden.

$$h = \frac{15 \cdot c_0}{D(\gamma' + \gamma_w \cdot i)} \quad [1]$$

- c_0 = Zugfestigkeit des bindigen Bodens
- D = maßgebender Korndurchmesser der grobkörnigen Schicht
- i = Gefälle der Sickerströmung
- γ' = Wichte des Bodens unter Auftrieb
- γ_w = Wichte des Wassers

Grundlegend sind damit die Randbedingungen abgesteckt. Wie Sie im einzelnen Anwendungsfall zu ermitteln sind und welche Einflussfaktoren maßgebend sind, muß jedesmal neu eingeschätzt werden. Über dem Bruchstrich stehen die Summe der rückhaltenden Kräfte, die Erodibilität und darunter die Faktoren, die ursächlich für den Stofftransport bzw. dessen Umlagerung sind. Wobei das Gefälle der Strömung ein Indiz für das Energieniveau und damit die Fließgeschwindigkeit ist.

Diesem Muster folgend wurden und werden für die Oberflächensicherung von Böschungen verschiedene Planungshilfen zusammengestellt. In der Regel sind solche Hilfestellungen produktgebunden, da es weder für die Herstellung der Produkte noch für deren Anforderungskatalog einheitliche Standards gibt. Die Ermittlung der Wirksamkeit von Geokunststoffen zum Schutz vor Erosion wird von vielen Faktoren beeinflusst und kann in den meisten Fällen nur vor Ort eingeschätzt werden. Deshalb sind die Verfahren zur Dimensionierung, die zur Verfügung gestellt werden, Erfahrungsberichte erfolgreich durchgeführter Projekte. Da es aber Erfahrungen über mehrere Jahrzehnte gibt, können die Möglichkeiten und die Grenzen des Einsatzes von geosynthetischen Erosionsschutzmatten in diesem Umfeld recht genau angegeben werden.

Das hier vorgestellte Verfahren hat keinen rechnerischen Einfluss auf die Erosionsgrundbruch- bzw. einen Böschungserosionsbruchsicherheit im Sinne der EAU [5].

3.2 Nasse Böschungen

Nach der Art und Weise der Einwirkungen werden trockene und nasse Böschungen unterschieden. Für Böschungen dieser Gruppe ist maßgeblich, dass sie nicht nur temporär dem Einfluss von Wasser ausgesetzt sind. Dazu gehören z.B. Uferböschungen, die zusätzlich durch Wellenschlag oder variierende Wasserstände beeinflusst werden. Auch wechselnde Fließgeschwindigkeiten können zu einem verstärkten Sedimenttransport führen, der mit mineralischen Materialien alleine nur unzureichend in den Griff zu bekommen ist.

Der anspruchsvolle geotechnische Mechanismus von Unterwasserböschungen findet bei der Betrachtung des oberflächennahen Erosionsschutzes keine Anwendung. Es wird dabei immer davon ausgegangen, dass die Standsicherheit der Böschung durch die Wahl der Geometrie oder anderer geeigneter Maßnahmen gewährleistet ist.

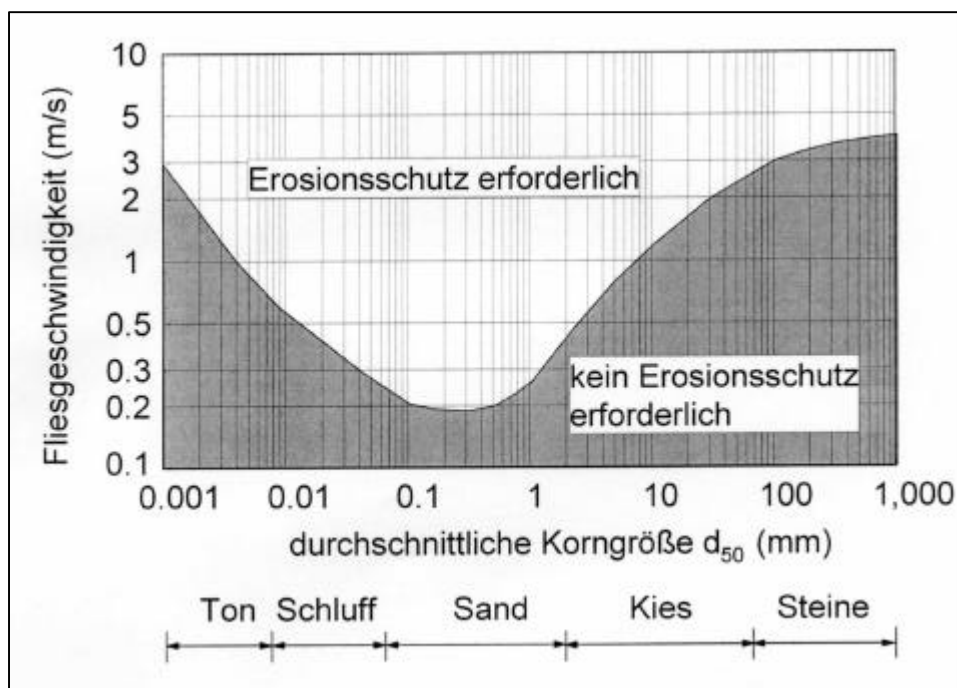


Abb. 1: Abhängigkeit der Erosionsanfälligkeit von Fließgeschwindigkeit und Körnungslinie

Für den Einfluss von Wasser auf Hängen und Böschungen lässt sich die Notwendigkeit eines Erosionsschutzes aus der Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit vom Verlauf der Körnungslinie nach dem Diagramm der Abb. 1 vornehmen. Diese Werte sind versuchstechnisch ermittelt und u.a. auch in [3] publiziert worden:

Die Abb. 1 ist hinsichtlich des Körnungsbandes der obersten Bodenschicht auszuwerten. Es zeigt, dass der Bereich von Schluffen über Sande bis hin zu Fein- und Mittelkiesen bereits bei geringen Fließgeschwindigkeiten erosionsgefährdet ist. Wobei Sande ohne Ton- oder Schluffanteile besonders erosionsgefährdet sind.

Wird das Diagramm nach Abb. 1 hinterfragt, gelangt man sehr schnell zu den Zusammenhängen zwischen Wasser und Boden, die das Transport- und Sedimentationsverhalten bestimmen. Das ist zum einen die Kornform, deren Durchmesser und Rauigkeit ausgedrückt durch einen Geschwindigkeitsbeiwert sowie die Art der Strömung charakterisiert durch die Reynolds-Zahl.

3.2.1 Ermittlung des Einflussbereiches

Sollte sich zeigen, dass nach Abb. 1 ein Erosionsschutz erforderlich wird, dann ist der Umfang der Wasserstandsdifferenzen zu ermitteln um den erosionsgefährdeten Bereich zu definieren. Der höchste Wasserstand sollte dabei wie folgt in die Planungen einfließen:

- bei geringen Wasserstandsunterschieden, die nicht von der Tide beeinflusst sind, der Bemessungshochwasserstand;
- bei großen Schwankungen des Wasserstandes, die nicht von der Tide beeinflusst sind, der Wasserstand der maximal 3 mal pro Jahr erreicht wird, wenn darüber hinaus alle sicherheitsrelevanten Anforderungen erfüllt werden;
- für den tidebeeinflussten Wasserstand ist das mittlere Hochwasser über den Bemessungszeitraum zu verwenden.

Zu den so ermittelten maßgeblichen Wasserständen sind der Wellenauflauf sowie ein darüber hinaus zu sichernder Bereich von mindestens 0,50 m zu addieren. Als Orientierung für den Wellenauflauf können die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte der projizierten Aufaulänge genutzt werden.

Tab. 1: Wellenauflauf in Abhängigkeit von Wellenhöhe (H_{Welle}) und Böschungsneigung

H_{Welle}	Wellenauflauf abhängig von der Böschungsneigung		
	26° (1:2)	18° (1:3)	14° (1:4)
0,1 m	0,40 m	0,25 m	0,20 m
0,2 m	0,80 m	0,55 m	0,40 m
0,3 m	1,20 m	0,80 m	0,60 m

Die Begrenzung im unteren Bereich wird durch den Niedrigwasserstand plus einer Einbindelänge von mindestens 1,00 m bestimmt. Dabei ist der Bemessungswert des Niedrigwasserstandes bzw. bei Ebbe der mittlere Wasserstand zu berücksichtigen.

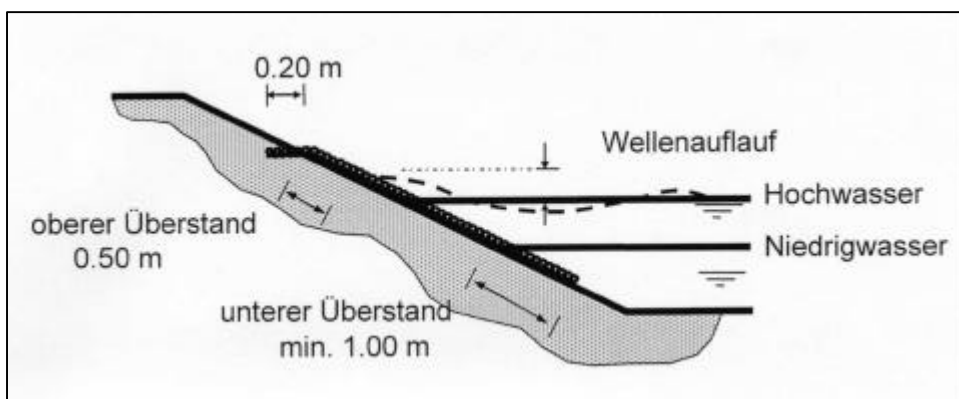


Abb. 2: Erosionsgefährdeter Bereich

Aus der Summe der einzelnen Abschnitte lässt sich der Materialbedarf für den Erosionsschutz pro laufenden Meter Böschung wie folgt berechnen:

$$L = L_{\text{Einbindung}} + L_{\text{oberer Übers}} \tan d + \left[(\text{Wellenauflaufhöhe} + HW - NW) \cdot \frac{1}{\sin b} \right] + L_{\text{unterer Übers}} \tan d \quad [2]$$

HW = Hochwasser

NW = Niedrigwasser

β = Neigung der Böschung in °

3.2.2 Hydraulische Beanspruchung

Bei der Ermittlung der hydraulischen Beanspruchung sind verschiedene Kombinationen zu berücksichtigen. Eventuell wird die Böschung zu einem späteren Zeitpunkt begrünt sein, so

dass die geosynthetische Erosionsschutzmatte den Bewuchs in seiner bewehrenden Funktion unterstützt oder der Geokunststoff übernimmt diese Funktion alleine. Daraus ergeben sich vier zu untersuchende Bereiche:

- Bestimmung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit ohne Vegetation
- Bestimmung der maximalen Belastungsdauer ohne Vegetation
- Bestimmung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit mit ausgebildeter Vegetation
- Bestimmung der maximalen Belastungsdauer mit Vegetation

Je nach Ziel der Planung und dem vorgesehenen Bauablauf kann es erforderlich sein alle vier Werte zu ermitteln, so dass der maßgebliche Fall aus den jeweiligen Extremwerten zu ermitteln ist. Die beiden Abbildungen 3 und 4 können dazu als Hilfestellung herangezogen werden.

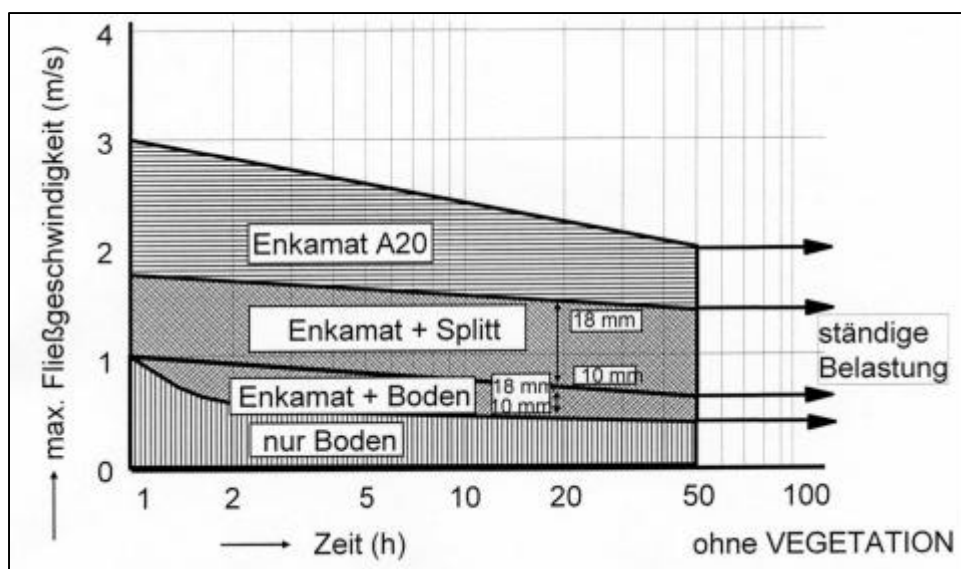


Abb. 3: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ohne Vegetation

Da es keinen einheitlichen Anforderungskatalog für Geokunststoffe im Bereich des Erosionsschutzes gibt, sind die in den Diagrammen zusammengestellten Messungen produktspezifisch. Sie lassen sich nicht auf andere Produkte übertragen. Neben der Dicke der Matte spielt auch die Feinheit der Struktur, d.h. die Anzahl der Filamente pro Quadratmeter eine entscheidende Rolle. Umgangssprachlich wird diese auch als die künstliche Wurzellänge bezeichnet. Sie beträgt bei den hier untersuchten Produkten zwischen 900 und 2.500 m/m².

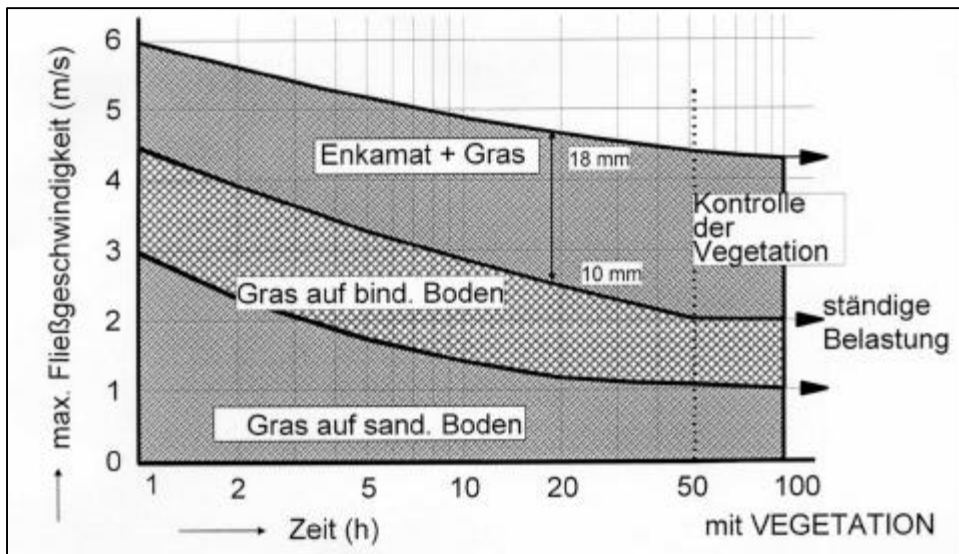


Abb. 4: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm mit Vegetation

Bei den Matten die mit Splitt verfüllt werden handelt es sich um solche, die mit einer verdichteten Struktur auf der Unterseite versehen sind oder während des Produktionsprozesses mit einem Vliesstoff kombiniert werden. Für Anwendungsfälle, in denen die Erosionsschutzmatte mit einer dünnen Schicht Boden-Saat-Gemisch verfüllt werden soll, haben sich beidseitig strukturierte Matten bewährt.

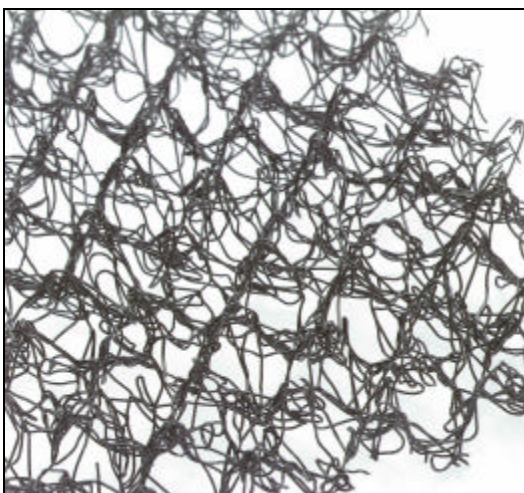


Abb. 5: Erosionsschutzmatte mit offener Struktur (Enkamat 7010) und werksseitig mit Splitt-Bitumen-Gemisch verfüllte Erosionsschutzmatte (Enkamat A)

Detailliertere Hinweise zur Entwurfsplanung von erosionsgefährdeten Böschungen können [2] entnommen werden.

4 Vegetation

Die Vegetation spielt im vorgestellten Erosionsschutzsystem eine wesentliche Rolle. Bei der Auswahl der Pflanzen sind verschiedene Randbedingungen zu beachten. Regeln dazu klingen zwar simpel und ihre Zusammenhänge sind trivial, sie sind es ist jedoch Wert darüber nachzudenken, damit sie bei der Umsetzung beachtet werden:

- Die Wurzellänge unterstützt den Zusammenhalt der oberen Bodenschichten, deshalb je länger die Wurzeln sind und je tiefer sie in den Untergrund eindringen, desto sicherer der Erosionsschutz.
- Mit der Auswahl standorttypischer Vegetation ist auch zu gewährleisten, dass Perioden mit unterschiedlichen Wachstumsbedingungen, z.B. Trockenheit o.ä. überbrückt werden können. Dabei sind auch die Eigenschaften des Untergrundes mit in die Betrachtungen einzubeziehen.
- Bereits im Vorfeld sollte der Bauablauf so geplant werden, dass der Zeitpunkt der Einsaat in die Wachstumsperiode der Pflanzen fällt. Dadurch kommt ein schneller Bewuchs zu Stande, der einen zusätzlichen Erosionsschutz bietet.
- Wenn eine regelmäßige Pflege der Vegetation nicht vorgesehen oder möglich ist, kann dies die einzusetzenden Pflanzenarten einschränken. Unter Umständen sind konstruktive Maßnahmen vorzusehen.

Die tatsächliche Auswahl der Pflanzen hängt im Einzelnen von den klimatischen Bedingungen, dem Untergrund und den speziellen Randbedingungen des Bauvorhabens ab, ist also für jede Anwendung zu Überdenken.

Von einer guten Germination der Saat und einem zügigen Anwachsen der Pflanzen kann bei Bodentemperaturen ab 10 °C ausgegangen werden. Für einen flächigen Bewuchs wie Rasen ist auch der jährliche Niederschlag sehr wichtig. Die Zeit für das Keimen der Saat beträgt unter günstigen Bedingungen ca. 1 bis 3 Wochen. Ein dichter Rasenbewuchs kann bereits nach einer Wachstumsperiode erreicht werden und hat sich nach zwei Wachstumsperioden verfestigt.

Günstig für eine Ansaat in Mitteleuropa sind die Monate April und September.

Da der Bewuchs nicht nur gut aussehen, sondern auch noch eine schützende Funktion mit übernehmen soll, empfiehlt es sich eine dichte Vegetationsdecke mit einem ausgeprägten Wurzelsystem zu planen.

5 Zusammenfassung

Erosionsschutz ist ein Thema das im Allgemeinen nur am Rande bei den Planungen von Bauvorhaben berücksichtigt wird. Durch dessen geringen Anteil an den Gesamtbaukosten erscheint dies gerechtfertigt, dem stehen jedoch die Komplexität des Systems und die Schnittstelle zur natürlichen Umgebung entgegen. Am Ende gibt die Gestaltung der obersten Deckschichten dem Bauwerk den letzten Schliff, ein Finish, das im Gegensatz zu vielen anderen Konstruktionsteilen sichtbar bleibt.

Wichtige Rahmenbedingungen für den Erosionsschutz an Fließgewässern sind:

- die Geometrie,
- die Untergrundbeschaffenheit,
- der Wasserstand,
- die Windstreichrichtung und der Wellenauflauf,
- die Fließgeschwindigkeit,
- der standorttypischer Bewuchs,

Allein das frühzeitige Einbeziehen des Themas Erosionsschutz in die Planungen erlaubt einen wesentlich effizienteren Bauablauf und sichert das Bauwerk auf Dauer.

6 Literatur

- [1] DGGT (Hrsg.): GDA-Empfehlungen, Geotechnik der Deponien und Altlasten. 3. Auflage 1997, Berlin: Ernst & Sohn, 1997
- [2] Colbond bv (Hrsg.): Enkamat[®] Design Manual, Arnhem: 1999
- [3] CUR (Hrsg.): Methode voor de periodieke sterktebeoordeling van dijken. Basisrapport, Bijlage H3, Gouda: CUR, 1991
- [4] Dachrodt, W.: Handbuch der Baugeologie und Geotechnik. 3. erw. und überarb. Auflage, Berlin: Springer, 2002
- [5] HTG/DGGT (Hrsg.): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen EAU 1996. 9. Auflage, Berlin: Ernst & Sohn, 1997