Geotextilien zum Erosionsschutz und zur Böschungssicherung – Eine vergleichende Analyse

Stephan Bloemer

Bodenerosion führt immer wieder zu teils erheblichen Schäden an neu gestalteten Böschungen im Erd- und Verkehrswegebau. Bis zur Etablierung einer den Boden festigenden Vegetation können Böschungen effektiv mittels verschiedener Geotextilien gegen Erosion geschützt werden. Der Beitrag beschreibt die Auswirkungen verschiedener Formen der Erosion, und wie Böschungen im Rahmen ingenieurbiologischer Bauweisen mit Geotextilien gegen Schäden durch Bodenabtrag gesichert werden können. Dabei werden Wirkungsweisen, Funktionen und Einsatzbereiche der in Deutschland am häufigsten eingesetzten Geotextilien detailliert erläutert.

Within the scope of civil engineering measures, soil erosion consistently causes severe damages on newly constructed slopes. Until a dense grass cover has developed, slopes can be successfully safeguarded against erosion by means of various geotextiles (rolled erosion control products). This article describes the impact of soil erosion, and it shows how slopes can be protected against damages by professionally applying geotextiles which form part of bioengineering practices. Relating to the most applied products in Germany, effectiveness, functioning and the range of use is comprehensively discussed.

Verfasseranschrift:
Geogr. M.A. S. Bloemer,
Bender GmbH & Co. KG,
Niederlassung Düsseldorf,
Henkelstr. 282,
40599 Düsseldorf,
bloemer@rekultivierungen.de

1 Erosion an Hängen und Böschungen

Erosionsgefährdete Böschungen entstehen vor allem dort, wo größere Erdbewegungen im Zuge baulicher Maßnahmen vorübergehend oder dauerhaft zu Einschnitten in die geologische Fazies oder zu Aufschüttungen führen.

Bodenerosion wird vor allem auf stärker geneigten Flächen durch die Verlagerung von Bodenpartikeln mittels Wasser und Wind hervorgerufen. Die Ablösung und der Transport von Bodenteilchen oder Bodenaggregaten aus der Bodenmatrix erfolgt durch rasches Befeuchten (Starkregen) und die kinetische Energie der Regen- und Spritztropfen, durch Oberflächenabfluss, Dispergierung und Frost-Tau-Zyklen. Folgen der Erosion sind vor allem lineare Veränderungen der Bodenoberfläche, die sowohl geringere Böschungsschäden wie Rillen- und Rinnenerosion als auch schwere Schäden wie Graben- und Tunnelerosion umfassen (Bilder 1 und 2). Mit zunehmender Neigung und Hanglänge steigt die Erosionsgefahr an. Schluffreiche Böden (Löß, Lößlehm) und wenig kohäsive Sande sind besonders erosionsanfällig; ton- und skelettreiche (steinige) Böden sind dagegen durch ihre Aggregatstabilität bzw. den hohen Anteil schwerer Bodenbestandteile erosionsresistenter. Auch durchlässige, grobsandige Böden sind aufgrund ihrer guten Infiltrierbarkeit wenig erosionsgefährdet (Blume 1990; Scheffer, Schachtschnabel 1998).

In den gemäßigten Breiten Mitteleuropas liegt – aufgrund der erhöhten Gewitterneigung und der damit verbundenen Starkregen – das niederschlagsbedingte Erosionsmaximum in den Sommermonaten.

Besonders betroffen von Erosion sind naturgemäß stark geneigte Flächen, die keine oder keine ausreichende Vegetationsbedeckung aufweisen. In den Industrieländern der gemäßigten Zone sind dies vor allem frisch hergestellte Böschungen und Hänge in Form von Einschnitten und Aufschüttungen im Verkehrswege-, Deponie-, Berg-, Landschafts- und Wasserbau (Bilder 1 und 2). Erosion kann Böschungen beeinträchtigen oder zerstören und damit vor allem im Verkehrswege- und Wasserbau unmittelbar nicht nur materielle Güter, sondern auch Personen akut gefährden. Uferbereiche von stehenden und fließenden Gewässern sind der Erosion durch Wellenschlag und Strömung gleichfalls in besonderem Maße ausgesetzt.

„Den besten Schutz vor Erosion bietet eine ständig bedeckte Bodenoberfläche“ (Scheffer, Schachtschnabel 1998). Die Bodenbedeckung wird idealerweise durch eine dauerhafte Vegetation gebildet, kann vorübergehend aber auch durch eine

Bild 1: Rillenerosion auf einer Autobahnböschung (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Bild 2: Rinnenerosion mit beginnender Grabenerosion wenige Wochen später auf demselben Böschungsabschnitt (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Mulchauflage oder durch geeignete Geotextilien (Erosionsschutzmatten und -gewebe) herbeigeführt werden. Eine möglichst raue Bodenoberfläche sowie geringe Hangneigungen und Hanglängen reduzieren a priori die Bodenerodierbarkeit (Erodibilität). Organische Substanz (Humus) führt zu stabilen biogenen Bodenaggregaten und reduziert gleichfalls die Erodibilität. Auch die Durchwurzelung des Bodens führt durch mechanische Stabilisierung und Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes zu einer antierosiven Wirkung. Zusätzlich wirken bestimmte bodenchemische Eigenschaften wie eine hohe Calciumsättigung der Austauscher erosionsmindernd (Blume 1990).

2 Ingenieurbiologische Maßnahmen gegen Erosion

Zuverlässige Maßnahmen gegen Erosion an Böschungen, Hängen und Ufern bieten verschiedene ingenieurbiologische Bauweisen. „Die Ingenieurbiologie ist ein Arbeitsgebiet des Naturschutzes und der Landschaftspflege mit der Zielsetzung, durch Bauverfahren mit Pflanzen als lebende Baustoffe Nutzungen zu fördern und sie im Sinne der Naturschutzgesetzgebung umweltverträglich zu gestalten“ (Schlüter 1996). Mindestens 170 ingenieurbiologische Bauweisen sind in der Fachliteratur beschrieben (Zeh 2007). Dichte und gut verwurzelte Grasnarben rasen- bzw. wiesenartiger Vegetationsbestände sind in der Regel der beste und nachhaltigste Erosionsschutz auf Böschungen. Aktuellen Forschungsergebnissen und langjähriger Erfahrung zufolge wird der beste Erosionsschutz selbst auf Flussdeichen mit besonders hoher, regionaltypischer Artenvielfalt der Vegetation erzielt und nicht mit handelsüblichem Regelsaatgut (Husicka 2003; Liebrand 1999). Mit geeignetem Regio-Saatgut sowie mit Saatgut aus dem Heudrusch®- und dem Heumulchverfahren lassen sich gezielt artenreiche Bestände etablieren, die dieser Zielsetzung entsprechen (Bloemer et al. 2007; Engelhard 2001). Solche Bestände sind nicht nur in erosionsschutztechnischer, sondern auch in ästhetischer (Blühaspekt!) und ökologischer Hinsicht zu bevorzugen (Bild 3).

Für das Zeitfenster zwischen Ansaat und Etablierung der Vegetation, was je nach Standort, Witterung und Jahreszeit meist einigen Wochen bis mehreren Monaten entspricht, sind zur Vermeidung von Erosionsschäden jedoch häufig zusätzliche

Bild 3: Artenreiche Bestände wie dieser – hier mit Geotextilgewebesicherung – bieten einen weit besseren Erosionsschutz als handelsübliche Landschaftsrasenmischungen und sind darüber hinaus von besonderem ästhetischen und ökologischen Wert (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Maßnahmen wie die Verwendung von Geotextilien erforderlich; zu dieser Produktgruppe zählen die besonders häufig eingesetzten Erosionsschutzmatten und Erosionsschutzgewebe (im Folgenden ES-Matten und ES-Gewebe genannt), die in der Regel mit einer Begrünung der zu sichernden Flächen kombiniert werden. In der ingenieurbiologischen Fachliteratur werden auch die weitgehend synonymen Begriffe „Saatmatten“, „Ansaat mit Netzüberspannung“ (Zeh 2007) und „Mulchsaat mit Netzen“ (Florineth 2004) verwendet.

Die relativ große Anzahl verschiedener Produkte mit unterschiedlichem Anforderungsprofil führt erfahrungsgemäß und verständlicherweise zu einer gewissen Unsicherheit bei ausschreibenden Institutionen, aber auch bei ausführenden Firmen hinsichtlich der Auswahl des geeigneten Verfahrens für das jeweilige Projekt. Ziel dieses Beitrages ist daher ein an der Praxis orientierter funktionaler Vergleich der häufigsten Geotextilien mit einem zusammenfassenden Überblick über Einsatzgebiete, Grenzen und Möglichkeiten des jeweiligen Verfahrens.

3 Erosionsschutz mittels Matten und Geweben

Dieser Artikel behandelt die am häufigsten eingesetzten organischen Geotextilien. Sie werden auf der Basis von pflanzlichen Fasern hergestellt, auf erosionsgefährdete Böschungen verlegt und mit Holzpflöcken oder Metallhaften befestigt. Bisweilen werden auch biologisch abbaubare Kunststoffhaften eingesetzt.

Es können drei Geotextil-Hauptgruppen unterschieden werden (Tabelle 1):

- **Saatgutmatten** aus Stroh (Heu), Stroh/Kokos oder Kokos. Hierbei handelt es sich um Matten mit eingearbeitetem

Tabelle 1: Übersicht über die Eigenschaften der am häufigsten eingesetzten organischen Geotextilien

Eigenschaften	Saatgutmatte Stroh und/ oder Heu	Saatgutmatte Stroh/Kokos	Saatgutmatte Kokos	Erosionsschutz-matte Stroh und/oder Heu	Erosionsschutz-matte Stroh/Kokos	Erosionsschutz-matte Kokos	Erosionsschutz-gewebe Jute	Erosionsschutz-gewebe Kokos 400 g	Erosionsschutz-gewebe Kokos 700 g	Erosionsschutz-gewebe Kokos 900 g
Faserinhalt	100 % Stroh/Heu	50 % Stroh/ 50 % Kokos-fasern	100 % Kokosfasern	100 % Stroh/Heu	50 % Stroh/ 50 % Kokos	100 % Kokosfasern	100 % Jutegewebe	100 % Kokosgewebe	100 % Kokosgewebe	100 % Kokosgewebe
Gewicht Fläche	550 g/m²	550 g/m²	550 g/m²	~350 g/m²	~350 g/m²	~350 g/m²	~500 g/m²	~400–450 g/m²	~700–750 g/m²	~900–950 g/m²
Gewicht Faser	375–400 g/m²	375–400 g/m²	375–400 g/m²	~350 g/m²	~350 g/m²	~350 g/m²	~500 g/m²	~400–450 g/m²	~700–750 g/m²	~900–950 g/m²
Gewicht Saatgut	25–30 g/m²	25–30 g/m²	25–30 g/m²	–	–	–	–	–	–	–
Gewicht Mulch	~100 g/m²	~100 g/m²	~100 g/m²	–	–	–	–	–	–	–
Gewicht Papier	~30 g/m²	~30 g/m²	~30 g/m²	–	–	–	–	–	–	–
Maschenweite	vollflächig	vollflächig	vollflächig	vollflächig	vollflächig	vollflächig	ca. 10–30 mm	ca. 18–25 mm	ca. 7–18 mm	ca. 5–12 mm
Dicke	10–12 mm	9–11 mm	8–10 mm	10–12 mm	9–11 mm	8–10 mm	–	-	-	-
Lebensdauer	~12 Monate	~18–24 Monate	~30-36 Monate	~12 Monate	~18–24 Monate	~30–36 Monate	~12–18 Monate	~30 Monate	bis 40 Monate	bis 50 Monate
Trägergewebe	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Netzgewebe biologisch zersetzbar (OXYGRID) oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	–	–	–	–
Steppfaden	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	PP-Multifilament, UV-instabil oder Jutegewebe (100 % biologisch abbaubar)	–	–	–	–
Reißfestigkeit PP-Steppfaden	800 d/tex	800 d/tex	800 d/tex	800 d/tex	800 d/tex	800 d/tex	–	–	–	–
Höchstzugkraft längs (bei Matten in Abhängigkeit der PP-Trägergewebe)	2,0–3,5 kN/m	2,0–3,5 kN/m	2,0–3,5 kN/m	2,0–3,5 kN/m	2,0–3,5 kN/m	2,0–3,5 kN/m	7,5 kN/m	5,87 kN/m	12,41 kN/m	19,99 kN/m
Höchstzugkraft quer (bei Matten in Abhängigkeit der PP-Trägergewebe)	1,7–3,5 kN/m	1,7–3,5 kN/m	1,7–3,5 kN/m	1,7–3,5 kN/m	1,7–3,5 kN/m	1,7–3,5 kN/m	5,0 kN/m	4,42 kN/m	11,45 kN/m	9,75 kN/m
Höchstdehnbarkeit längs/quer	33,2/23,5 %	31,6/31,2 %	31,2/23,7 %	33,2/23,5 %	31,6/31,2 %	31,2/23,7 %	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Flächenabdeckung	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	35–40 %	ca. 35 %	ca. 60 %	ca. 65 %
Einsatzgebiet Hangneigung	bis 1:1,5	bis 1:1	≥ 1:1	bis 1:1,5	bis 1:1	≥ 1:1	bis 1:1,5	≥ 1:1,5	≥ 1:1,5	≥ 1:1,5

Bild 4: Saatgutmatte aus Stroh (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 5: Saatgutmatte aus Stroh/Kokos (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 6: Saatgutmatte aus Kokos (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 7: Erosionsschutzmatte aus Stroh (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 8: Erosionsschutzmatte aus Stroh/Kokos (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 9: Erosionsschutzmatte aus Kokos (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Saatgut und Mulchfasern. Da diese Matten bereits Saatgut enthalten, werden sie ohne zusätzliche Ansaat verlegt (Bilder 4 bis 6).

- **Erosionsschutzmatten** aus Stroh (Heu), Stroh/Kokos oder Kokos ohne eingearbeitetes Saatgut und Mulchfasern. Diese Matten werden grundsätzlich in Kombination mit einer Ansaat (meistens Nassansaat) verlegt. Die Ansaat muss auf jeden Fall vor der Verlegung durchgeführt werden, da ES-Matten die Fläche vollständig bedecken (Bilder 7 bis 9).
- **Erosionsschutzgewebe** aus Kokos in 3 verschiedenen Gewichtsklassen oder aus Jute. Auch diese Matten werden grundsätzlich in Kombination mit einer Ansaat (meistens Nassansaat) verlegt. Die Ansaat kann – mit Ausnahme der schwersten Matte – vor oder nach Verlegung der Matten durchgeführt werden, da deren Flächenabdeckungsfaktor relativ gering ist (Bilder 10 bis 13).

Mindestens zehn verschiedene Geotextilien zählen damit zum Standardrepertoire der Hersteller und werden besonders häufig zum Erosionsschutz eingesetzt (IGG Internationale Geotextil GmbH; MST-Dränbedarf GmbH).

Bild 10: Erosionsschutzgewebe aus Jute 500 g/m² (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 11: Erosionsschutzgewebe aus Kokos 400 g/m² (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 12: Erosionsschutzgewebe aus Kokos 700 g/m² (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Bild 13: Erosionsschutzgewebe aus Kokos 900 g/m² (Foto: MST Dränbedarf GmbH)

Zwecks fachgerechter Anbringung von ES-Matten und ES-Gewebe muss die zu schützende Fläche vorab seitens des ausführenden Bauunternehmens möglichst gleichmäßig und eben profiliert werden. Bei der anschließenden Verlegung ist darauf zu achten, dass die Überlappungsbereiche der benachbarten Bahnen nicht zu groß sind, um eine Beeinträchtigung der Vegetation durch doppelte Lagen zu vermeiden. In der Regel sind wenige Zentimeter Überlappung ausreichend. Das Eingraben der Matten- bzw. Gewebeende am oberen oder unteren Böschungsrand bringt keine erkennbaren Vorteile, weshalb auch hier Haften oder Pflöcke bevorzugt werden sollten. Bei der Verlegung dürfen die Flächen noch nicht bewachsen sein, um einen unmittelbaren Bodenkontakt zu ermöglichen. Stark wüchsiger Spontanwuchs („Unkraut") kann punktuell vor allem die ES-Matten anheben, was deren Effizienz beeinträchtigt. Es ist darauf zu achten, dass Matten und Gewebe vollflächigen Bodenkontakt haben, also keiner zu starken Spannung unterliegen. Im Gewässerbereich kann die Überlappungsbreite je nach Anforderung stärker sein; die Überlappung der Geotextilbahnen muss zudem mit der zu erwartenden Strömung erfolgen, die aufgrund von seitlichen Rückstrom- und Verwirbelungseffekten nicht immer der Hauptfließrichtung folgen muss.

Die Fixierung der Matten erfolgt am besten mit Stahlhaften; auch biologisch abbaubare Kunststoffhaften und Holzpflöcke werden mitunter verwendet, jedoch werden letztere beim Quellen bindiger Böden durch Nässe und bei Frosteinwirkung bisweilen angehoben. Zwei bis drei Haften je qm sind bei ES-Matten und -Gewebe gewöhnlich ausreichend, bei Saatmatten sollten zwecks optimaler Auflage 4 Haften je qm eingesetzt werden. Bei schwierigen Standortbedingungen und ungleichmäßiger Bodenoberfläche sollte die Zahl der Haften entsprechend erhöht werden. Mit Geotextilien gesicherte Flächen sollen nach Möglichkeit nicht mehr betreten werden.

Im Folgenden soll detailliert darauf eingegangen werden, was die hier behandelten Erosionsschutzsysteme leisten können, wo sie eingesetzt werden und was sie im Einzelnen unterscheidet.

3.1 Funktion und Wirkungsweise von Matten und Geweben

ES-Matten und ES-Gewebe dienen dem Schutz vor Bodenerosion auf geneigtem Gelände für den Zeitraum bis zu einer vollständigen Vegetationsetablierung. Ihre Funktion ist daher – je nach Standort, Jahreszeit und Witterung – temporär auf einige Wochen bis mehrere Monate begrenzt (auf schwer begrünbaren Extremflächen kann dieser Zeitrahmen unter Umständen auch deutlich größer sein). Böschungen und Hänge mit einer Neigung ≥ 1:3 sind daher das Haupteinsatzgebiet dieser Geotextilien. Aktuelle Felduntersuchungen belegen eine deutliche Reduzierung des Bodenabtrags nach Starkregen durch ES-Gewebe und -Matten. Auch entsprechende Laboruntersuchungen zeigen, dass die Oberfläche sehr wirksam gegen Erosion durch Wasser geschützt wird. Mit abnehmender Maschenweiten der eingesetzten Produkte nimmt die Intensität des Erosionsschutzes zu. Bei einer projektiven Deckung der Vegetation ab 60 % findet auf mit Matten und Geweben geschützten Böschungen praktisch kein Bodenabtrag mehr statt (SKZ-KFE, Bayerische Landes-

Bild 14: Geotextilien (hier: Jutegewebe) ermöglichen eine besonders gleichmäßige und rasche Keimung (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

anstalt für Weinbau und Gartenbau 2011). ES-Gewebe und -Matten übernehmen bis zu ihrem Abbau durch Bodenorganismen (nach ca. 1 bis 4 Jahren in Abhängigkeit vom Produkttyp und Standort) folgende Funktionen:

- Reduzierung oder Vermeidung der Zerstörung von Bodenaggregaten durch Starkregen: Durch die Beschattung des Bodens und den durch die Geotextilien erzielten Mulcheffekt bleibt der Boden auch während sommerlicher Trockenperioden länger feucht; dies reduziert Aggregatzerstörung durch Luftsprengung, die durch eindringendes Wasser in ausgetrockneten Boden verursacht wird. Weniger Aggregatzerfall bedeutet weniger Angriffsfläche für erosive Kräfte. ES-Matten weisen einen höheren Flächenabdeckungsfaktor auf als ES-Gewebe, weshalb die beschriebene Wirkung bei Matten größer ist.
- Geotextilien puffern die kinetische Energie der Regentropfen, bevor diese zerstörend auf die Bodenoberfläche wirken können. ES-Matten mit ihrem höheren Flächenabdeckungsfaktor wirken auch hier effektiver als ES-Gewebe.
- Der beschriebene Effekt verhindert oder reduziert die Ablösung von Bodenfeinteilen, die die Bodenporen verstopfen und zur Verschlämmung führen. Geotextilien verringern also die Bodenverschlämmung und erhalten die Infiltrierbarkeit (Wasseraufnahmefähigkeit) des Bodens, was erhöhtem Oberflächenabfluss und damit zunehmender Erosionsgefahr entgegen wirkt.
- Geotextilien erhöhen die Rauigkeit der Bodenoberfläche und bremsen so die Geschwindigkeit und damit die erosiv wirkenden Scherkräfte des Oberflächenabflusses. Je dicker und schwerer das Geotextil, desto effektiver ist die Wirkung.
- Im Uferbereich von Binnengewässern setzen Erosionsschutzgewebe durch die Erhöhung der Bodenrauigkeit die Fließgeschwindigkeit herab, was zu einem reduzierten Bodenabtrag führen kann. Die Abdeckung des Bodens resultiert darüber hinaus in einer Pufferung und Abschirmung vor den physikalischen Kräften des Wassers.
- Winterliche Frost-Tau-Zyklen vermögen Bodenaggregate zu lockern und die Infiltration zu behindern, wenn das Bodenwasser gefroren ist (Scheffer, Schachtschnabel 1998). Dieser erosionsfördernde Vorgang kann – je nach Temperatur – durch Geotextilien reduziert werden, weil die Frostwirkung durch die Bodenabdeckung abgeschwächt wird.
- Die grobmaschigen ES-Gewebe (ca. 5 bis 30 mm, je nach Produkttyp) bieten durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit die Möglichkeit, auf relativ glatten Oberflächen höhere Aufwandmengen an Bodenverbesserungsstoffen (z. B. Kalk bei sauren Böden im Bergbau), Mulch und Dünger aufzutragen.
- ES-Matten und -Gewebe sind, wie aktuelle Laboruntersuchungen zeigen, bei fachgemäßem Einbau problemlos begrünbar (SKZ-KFE, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2011). Sie wirken wie eine Mulchschicht; Mulchstoffe verbessern das Mikroklima und schützen vor Witterungseinflüssen, was die Keimung und die Entwicklung der Vegetation fördert und beschleunigt (Hacker, Johannsen 2012). Sie verringern die Verdunstung und mildern Temperaturextreme ab. Die Bodenoberfläche bleibt länger feucht. Im Schutz von Geotextilien verläuft der Keimungsvorgang schneller und gleichmäßiger, trockenheitsbedingte Ausfälle in jungen Vegetationsbeständen sind seltener (Bild 14). In der kalten Jahreszeit wird das Pflanzenwachstum unterstützt und beschleunigt. Da ES-Matten einen höheren Flächenabdeckungsfaktor aufweisen als ES-Gewebe, ist die beschriebene Wirkung bei Matten größer.[1]

Die hier behandelten Geotextilien bieten damit vorwiegend einen Schutz vor niederschlagsbedingten Böschungsschäden durch oberflächennahe Erosionserscheinungen wie Rillen- und Rinnenerosion; werden Rillen- und Rinnenerosion verhindert oder deutlich reduziert, trifft dies naturgemäß auch auf weitere Vertiefungen zu, die zur Graben- und Tunnelerosion führen können. Auch im Uferbereich von Gewässern können Erosionsschäden durch Geotextilien reduziert werden.

Aufgrund ihrer begrenzten Lebensdauer bieten ES-Matten und -Gewebe naturgemäß nur einen vorübergehenden Erosionsschutz. Sie überbrücken vorwiegend den Zeitraum zwischen Ansaat und Vegetationsetablierung. Sobald die Vegetation – meist handelt es sich hierbei um rasen- und wiesenartige Pflanzengesellschaften – den weithegenden Narbenschluss und das Wurzelsystem ausgebildet hat, haben die Geotextilien weitgehend ausgedient. Wurzeln und oberirdische Biomasse übernehmen nun die Funktion des Erosionsschutzes dauerhaft. Es sei nochmals betont, dass sich die Funktion der ES-Matten und -Gewebe je nach Jahreszeit, Witterung und Standort in der Regel auf einige Wochen oder Monate beschränkt.

3.2 Was Matten und Gewebe nicht leisten können

Hinsichtlich des funktionellen Potenzials von ES-Matten und -Geweben bestehen sowohl bei planenden und ausschreibenden Stellen als auch bei ausführenden Unternehmen häufig Unsicherheiten und nicht erfüllbare Erwartungen. Im Folgenden ist daher angeführt, welche Anforderungen diese Produkte in der Regel nicht erfüllen können.

---

1 Entgegen jahrzehntelanger Praxiserfahrung mit immer wieder bestätigten, klaren Vorteilen für die Vegetationsetablierung konnten diese im Rahmen eines aktuellen Feldversuchs für die Stroh/Kokosmatte und ein Kokosgewebe (700 g/m²) nicht verifiziert werden (von den in der vorliegenden Publikation behandelten Produkten wurden in diesem Feldversuch neben anderen, vorwiegend synthetischen Erzeugnissen nur die Stroh/Kokosmatte, das Kokosgewebe 700 g/m² und das Jutegewebe untersucht) (SKZ-KFE, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2011). Da dieses Ergebnis auch in augenfälligem Gegensatz zu den Laborergebnissen derselben Untersuchung sowie zu den erheblichen, Jahr für Jahr mit den betreffenden Systemen gesicherten Flächen steht, stellt sich die Frage, inwieweit methodische Aspekte, standörtliche Faktoren und die Herkunft der verwendeten Geotextilien das Untersuchungsergebnis beeinflusst haben könnten. So diente als Bodenauftrag ein „eher vegetationsfeindliches Substrat ... aus den unteren, unbelebten Lösslagen“ (SKZ-KFE, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2011, S. 95), das gemäß DIN 18918 unbedingt einer angemessenen Düngung bedurft hätte; in einem nährstoffarmen Rohboden wird durch den mikrobiellen Abbau der Geotextilien ohne ausgleichende Düngung der für das Pflanzenwachstum essentielle Stickstoff immobilisiert, was die Vegetationsentwicklung deutlich einschränken kann (Nährstoffsperre)! Darüber hinaus fallen einige Paradoxe auf, wie z. B. eine vergleichsweise hohe Vitalität der Vegetation bei dem insgesamt unterdurchschnittlich abschneidenden Kokosgewebe. Wichtig wäre auch die Feststellung der Herkunft der betreffenden Geotextilien in Bezug auf eine mögliche Schadstoffbelastung. Hier besteht offenbar weiterer Klärungsbedarf.

Bild 15: Derartige Böschungsschäden können nicht durch ES-Gewebe und ES-Matten vermieden werden (Foto: SW Düngesysteme GmbH)

- Schutz vor großflächigem Massenversatz: Hierzu zählen Stürze, Rutschungen, Kriech- und Fließbewegungen, also Erosionserscheinungen, die nicht auf die Oberfläche begrenzt sind (Bild 15). Diese Massenbewegungen finden ihre Ursache in der Geologie, Hydrogeologie und Geomechanik, der Gravitation, dem Wassergehalt (Bodenkonsistenz) und menschlichen Einflussgrößen (Blume 1990). Es handelt sich also um eher drastische, großflächige und großvolumige Erosionserscheinungen mit einer relativ großen Tiefenwirkung, die durch oberflächig wirkende Geotextilien nicht oder nur sehr begrenzt beeinflusst werden. Kommt es zum Massenversatz auf mit Geotextilien gesicherten Böschungen, werden die Matten einfach mitgerissen.
- Steinschlag ist ein Phänomen des Massenversatzes; hier gilt im Prinzip dasselbe wie vorab erörtert. ES-Matten und -Gewebe lassen sich auf steinigen, geröll- und blockhaltigen Hängen nur schwer befestigen und vermögen nur kleinere Steine zu fixieren. Auch ihre begrenzte Haltbarkeit (ca. 1 bis 4 Jahre) prädestiniert sie nicht für den Schutz gegen Steinschlag. Unumgänglich sind daher technische Vorrichtungen gegen Steinschlag (z. B. Steinschlagschutznetze).
- Fixierung von Oberbodenandeckungen: Im Erd- und Tiefbau werden Böschungen zwecks nachfolgender Begrünung meist mit einer 10 bis 30 cm dicken Lage aus Oberboden angedeckt. Ohne fachgerechte Vorkehrungen rutschen Oberbodenandeckungen häufig ab, es kommt zum Massenversatz (s. o. und Bild 15). Oberbodenandeckungen können nicht mit ES-Matten und -Geweben gegen Abrutschen gesichert werden. Hierfür existieren spezielle, routinemäßig eingesetzte ingenieurbiologische Verfahren wie Faschinenverbau und ähnliche Bauweisen (Stalljann, Bloemer 2008). DIN 18915 und 18918 verlangen zudem eine Verzahnung zwischen Untergrund und Oberbodenauftrag, z. B. durch Aufrauen des Baugrunds. Fehlt diese Verzahnung, etwa bei häufig zu beobachtendem, glatt abgezogenem Rohbodenplanum, besteht erhöhte Rutschungsgefahr für angedeckte Oberbodenmassen, wogegen Geotextilien keinen Schutz bieten. Dass Rohbodenbegrünungen in fachlicher Hinsicht zu bevorzugen sind, dürfte in Fachkreisen längst bekannt sein (Kirmer, Tischew 2006; Bloemer 2003; FLL 1998). Daher sollte auf das Andecken von Oberboden auf Böschungen nach Möglichkeit verzichtet werden. Mit einer Nassansaat lassen sich in der Regel auch problematische Rohböden zuverlässig begrünen (Bild 16).
- Oberflächenabfluss: Handelt es sich bei dem betroffenen, zu sichernden Böschungsbereich um den unteren Teil eines größeren Hanges, kann es – insbesondere bei Starkniederschlägen – zum Eindringen von Oberflächenabflusswasser aus dem oberhalb liegenden Gelände kommen. Kommt es dabei zu sturzbachartigen Abflussvorgängen, bieten selbst schwere Kokosgewebe in der Regel keinen ausreichenden Schutz vor Rillen- und Grabenerosion. Häufig werden die Matten durch die Kraft des

Bild 16: Begrünung von mit Jutegewebe gesicherter Böschung per Nassansaat (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Wassers einfach weggerissen oder unterspült.

- Ufersicherung: Geotextilien können im Bereich relativ schwacher Strömung und geringen Wellengangs durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit die Fließgeschwindigkeit in Bodennähe reduzieren und so einen gewissen Schutz gegen Hochwasserschäden bieten. Starken Strömungen und stärkerem Wellenschlag halten Matten und Gewebe bzw. die Befestigungsmittel in der Regel nicht lange stand. Zur Ufersicherung an Fließgewässern stehen verschiedene ingenieurbiologische Verfahren zur Verfügung (Zeh 2007; Schlüter 1996; Pflug 1988; Begemann, Schiechtl 1986).
- ES-Matten und ES-Gewebe ersetzen weder Düngung noch Bodenverbesserung. Art und Aufwandmengen geeigneter Nährstoffträger und Bodenverbesserungsmittel müssen gemäß DIN 18918 unabhängig von Maßnahmen zum Erosionsschutz ermittelt und angewendet werden. Insbesondere auf Rohböden ist im Zusammenhang mit der Sicherung durch organische Geotextilien auf eine ausreichende Stickstoffdüngung zu achten, um einer Immobilisierung dieses wichtigsten Nährstoffes im Zuge des mikrobiellen Abbaus der Matten bzw. Gewebe vorzubeugen!

4 Einsatzgebiete von Erosionsschutzmatten und -geweben

Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick über den Einsatzbereich der häufigsten ES-Matten und -Gewebe. Sie sollen in erster Linie planenden und ausschreibenden Institutionen die Auswahl des geeigneten Verfahrens erleichtern.

4.1 Saatgutmatten

Hierbei handelt es sich um Erosionsschutzmatten mit eingearbeitetem Saatgut, die in drei Varianten angeboten werden:

- Saatgutmatten aus Strohfasern
- Saatgutmatten aus Stroh- und Kokosfasern
- Saatgutmatten aus Kokosfasern.

Diese Varianten können zudem jeweils mit Steppfaden und Trägergewebe aus UV-instabilem bzw. biologisch abbaubarem Polypropylen (PP) oder aus Jutegewebe geliefert werden (siehe Tabelle 1).

Saatgutmatten sind für solche Böschungsflächen vorgesehen, die einen raschen und zuverlässigen Schutz vor Erosion durch Niederschläge erfordern. Damit Saatgutmatten diesen Schutz auch gewährleisten, müssen allerdings zwei wesentliche Aspekte vorausgesetzt werden:

Erstens muss die zu sichernde Bodenoberfläche sehr eben sein; auch kleinste Erhebungen und Vertiefungen verhindern einen 100%igen Kontakt der Matte und damit des Saatguts mit dem Boden (Hacker, Johannsen 2012). Jedwede Spuren von Raupen, Baggern und sonstigem Gerät sowie Steinbesatz und größere, aus der Oberfläche ragende Bodenaggregate verhindern einen vollständigen Bodenkontakt. Gleichfalls verhindert vorwüchsige Vegetation diesen erforderlichen Kontakt. Auch nach dem Verlegen der Matten aufkommender, durch die natürliche Samenbank im Boden gebildeter großblättriger Spontanwuchs (z. B. Ampferarten und Gänsefußgewächse) verhindert durch die Anhebung der Matten bis zu mehreren Zentimetern in seinem Bereich jeden Bodenkontakt. Nur ein vollständiger, also 100%iger Bodenkontakt der Saatmatten bietet die Voraussetzung dafür, dass das in den Matten eingearbeitete Saatgut Bodenfeuchtigkeit erhält, keimen und Wurzeln bilden kann. Bei unzureichendem Bodenkontakt hängen Teilbereiche der Matten samt dem darin enthaltenen Saatgut in der Luft – auch beim Einsatz erhöhter Mengen an Haften bzw. Pflöcken; hier kann das Saatgut nicht keimen, die Vegetationsentwicklung wird verhindert. Eine ausnahmslos ebene Fläche ohne kleinräumige Reliefstrukturen lässt sich an Böschungen erfahrungsgemäß kaum herstellen (Hacker, Johannsen 2012; Stalljann 2011).

Zweitens muss bei einer Böschung, die mit Saatgutmatten begrünt werden soll, sichergestellt sein, dass der anstehende Boden gemäß DIN 18918 außer Saatgut keine weiteren Stoffe wie z. B. Dünger und Bodenverbesserungsmittel benötigt. Diese sollten nach erfolgter Mattenverlegung nicht mehr auf den Boden ausgebracht werden, weil die bereits verlegte Matte wie eine Sperrschicht wirken kann und somit verhindert, dass für den Boden wichtige Komponenten rechtzeitig in den Boden eindringen (Stalljann 2011).

Eine bessere Alternative ist daher grundsätzlich, die betreffenden Böschungen in einem ersten Schritt per Nassansaat mit ggf. erforderlichen Dünge- und Bodenverbesserungsstoffen gemäß DIN 18918 einzusäen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2003) und in einem zweiten Schritt mit Erosionsschutzmatten ohne eingearbeitetes Saatgut zu sichern. Mit diesem alternativen, in der Praxis routinemäßig und erfolgreich eingesetzten Verfahren ist ein 100%iger Kontakt des Saatguts mit dem Boden gewährleistet, die oben genannten Probleme treten auch bei einem unvollständigen Kontakt der Matten mit dem Boden nicht auf. Zudem kann es problemlos auch auf schwierigen Rohbodenstandorten eingesetzt werden (Bloemer 2000; Stalljann 2000)

Ungeachtet dieser Einwände, gelten für die Verwendung der Saatgutmatten dieselben Voraussetzungen wie für die ES-Matten gleichen Materials ohne Saatgut. Auf die Verwendung dieser Matten ohne Saatgut wird im folgenden Kapitel detaillierter eingegangen.

4.2 Erosionsschutzmatten ohne Saatgut

Erosionsschutzmatten sind Produkte ohne eingearbeitetes Saatgut; auch sie werden wie die Saatgutmatten in drei Varianten – jeweils mit Steppfaden aus UV-instabilem Polypropylen (PP) oder aus Jutegewebe – angeboten (siehe Tabelle 1):

- ES-Matten aus Strohfasern
- ES-Matten aus Stroh- und Kokosfasern
- ES-Matten aus Kokosfasern.

Diese Matten werden gewöhnlich in Kombination mit einer Nassansaat eingesetzt und bieten einen raschen und zuverlässigen Schutz vor Erosion durch Niederschläge. Die Ansaat muss vor Verlegung der Matten durchgeführt werden, da sie eine nahezu hundertprozentige Flächendeckung aufweisen. Bei einer Ansaat nach Verlegung der Matten würde der größte Teil des Saatgutes unweigerlich auf den Matten liegen und hätte infolge dessen keinen zur Keimung erforderlichen Bodenkontakt.

Neben dem Erosionsschutz wirken die Matten als Mulchlage und beschleunigen Keimung und Entwicklung der Ansaat (Bilder 17 und 18). Die Funktion der Mat-

ten beschränkt sich auf den Zeitraum bis zur vollständigen Begrünung; danach übernimmt die Vegetation den Erosionsschutz dauerhaft.

Ist mit einer raschen oder normalen Vegetationsentwicklung zu rechnen, reicht die Strohmatte mit einer Lebensdauer von ca. 12 Monaten aus. Dies gilt in Mitteleuropa für die meisten Böschungsstandorte, vor allem für solche aus Oberboden oder bindigem Rohboden.

Bei Standortbedingungen, die aufgrund Wassermangel, Nährstoffarmut, Bodenchemismus, Topographie, Exponierung und mikroklimatischen Bedingungen eine merklich verzögerte Vegetations- und Wurzelentwicklung erwarten lassen (Extremflächen), sind die langlebigeren Matten aus Stroh/Kokos (Lebensdauer bis 2 Jahre) oder reiner Kokosfaser (Lebensdauer bis 3 Jahre) sinnvoll (vgl. Tabelle 1). Mit diesen Geotextilien können mithin deutlich längere Zeiträume bis zur Vegetationsetablierung auf besonders extremen Standorten überbrückt werden. Hierzu zählen z. B.:

- Rohbodenböschungen aus grobem Substrat mit geringer Wasserspeicherkapazität wie Sand, Grus, Kies,
- mit Kalk, Zement oder anderen Bindemitteln stabilisierte Standorte,
- stark saure oder alkalische Böden,
- Steilhänge mit einer Neigung von > 45°,
- ausgeprägte Trocken- und Magerstandorte,
- mikroklimatische Extremflächen wie südexponierte Böschungen mit ausgeprägter Insolation.

Solche Extremflächen können mit einer Kombination aus Nassansaat und ES-Matten aus Stroh/Kokos oder Kokos recht zuverlässig gegen Erosionsschäden gesichert werden.

4.3 Erosionsschutzgewebe

Erosionsschutzgewebe sind grob gewebte Produkte aus reinen Kokos- oder Jutefasern. Die gängigsten Produkte sind:

- ES-Gewebe aus Kokosfasern mit einem Flächengewicht von 400, 700 und 900 g/m^2,
- ES-Gewebe aus Jutefasern mit einem Flächengewicht von 500 g/m^2.

Bei diesen Geweben handelt es sich um robuste, grobmaschige Geotextilien mit einer Lebensdauer von ca. 2 bis 4 Jahren, die relativ hohen Zugkräften von (längs) 7,5 bis fast 20,0 kN/m standhalten (vgl. Tabelle 1). Auch ES-Gewebe werden in Kombination mit Nassansaaten eingesetzt.

Bild 17: Verlegung von ES-Matten aus Stroh zur Sicherung einer steilen Böschung und zur Beschleunigung der Keimung und Vegetationsentwicklung (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Bild 18: Trotz extremer Frühjahrstrockenheit in 2011 konnte sich die Vegetation innerhalb weniger Wochen etablieren (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

Die Grobmaschigkeit der Materialien führt zu einem vergleichsweise geringen Flächenabdeckungsfaktor von ca. 35 % bis > 65 %, weshalb sie sich für den Einsatz sowohl vor als auch nach der Ansaat eignen; ausgenommen ist hier das Kokosgewebe 900 g/m^2, bei dem die Ansaat aufgrund relativ kleiner Maschenweiten vor der Verlegung erfolgen sollte. Zusätzliche Mulchlagen (z. B. im Zuge von Strohdecksaaten) und Verklebungen mit Bodenfestigern sollten jedoch ausschließlich nach der Gewebeverlegung appliziert werden, da sie andernfalls durch nachfolgende Arbeiten auf der Böschung zerstört oder stark beeinträchtigt würden.

Durch den im Vergleich zu den ES-Matten deutlich geringeren Flächenabdeckungsfaktor ist der Schutz vor der zerstörenden Wirkung von Regentropfen bei den ES-Geweben geringer. Auch ist die Mulchwirkung der ES-Gewebe naturgemäß schwächer; dennoch reduzieren sie signifikant die Erosionsgefahr (SKZ-KFE gGmbH, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2011). Auch die nicht abgedeckten Mikrobodenbereiche in den Maschen sind durch die ringsum erhabenen Faserstränge besser gegen Witterungseinflüsse geschützt als Flächen ohne Gewebesicherung. Keimung und Entwicklung der Ansaat werden somit beschleunigt, allerdings in geringerem Maße als bei den zuvor beschriebenen Matten. Die Rauigkeit der Bodenoberfläche wird durch ES-Gewebe jedoch merklich erhöht, was den Oberflächenabfluss bremst und die damit verbundenen erosiven Kräfte (Schleppkraft) schwächt. Dieser Effekt ist umso stärker, je dicker und schwerer das Geotextil ist. Will man eine Mulchwirkung wie bei den ES-Matten erzielen, empfiehlt sich die Aufbringung einer Mulchlage aus Strohhäckseln gemäß DIN 18918 nach dem Anbringen des ES-Gewebes.

Die Funktion der ES-Gewebe beschränkt sich auf den Zeitraum bis zur vollständigen Begrünung und weitgehenden Durchwurzelung; danach übernimmt die Vegetation den Erosionsschutz dauerhaft.

Die Verwendung der vergleichsweise zugfesten ES-Gewebe kann dort sinnvoll sein, wo mit dem Auftreten erhöhter Zugkräfte zu rechnen ist. Dies trifft z. B auf wenig verdichtete Aufschüttungen zu, deren Bodenmassen sich noch setzen können. Neben der Zugfestigkeit des Gewebes ist jedoch die Art der Gewebefixierung entscheidend. Treten zu starke Zugkräfte auf, werden gewöhnliche Stahl- oder Holzhaften leicht aus ihrer Verankerung gerissen. Auf setzungsgefährdeten Böschungen sollten daher spezielle Bodenanker, z B. Moniereisen in einer Länge von ≥ 50 cm, verwendet werden.

Auch im Uferbereich von Überflutungsgräben, Rückhaltebecken sowie auf Flussdeichen werden Kokos- und Jutegewebe eingesetzt, um gewässernahe Böschungen im Hochwasserfalle bis zur vollständigen Vegetationsetablierung vor der erosiven Kraft von strömendem oder Wellen schlagendem Wasser zu schützen. Dabei spielt die Herabsetzung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Erhöhung der Rauigkeit der Bodenoberfläche eine große Rolle. Je stärker die zu erwartende Strömung, desto schwerer sollte das ES-Gewebe sein. Stärkeren Strömungen und Wirbeln in Fließgewässern und dauerhaftem Wellenschlag haben die Gewebe und die sie fixierenden Haften erfahrungsgemäß jedoch wenig entgegenzusetzen. Hier wäre zumindest eine besondere Verankerungstechnik erforderlich. Für Gewässer mit höherer Fließgeschwindigkeit wie Bäche und Flüsse im Mittel- und Hochgebirge stehen zahlreiche ingenieurbiologische Bauverfahren zur Verfügung (Zeh 2007; Pflug 1988 und 1999; Begemann, Schiechtl 1986).

Die Erfahrung zeigt, dass frisch hergestellte oder sanierte Flussdeiche, deren wasser-

Bild 19: Verlegung von Jutegewebe zum Hochwasserschutz im Deichbau (Foto: Bender GmbH & Co. KG)

seitige Böschungen im Hochwasserfall nur eine relativ geringe Strömung und Wirbelbildung zu erwarten haben, bis zur Etablierung der Grasnarbe meist zuverlässig mit Jutegewebe (500 g/m²) gesichert werden können (Bild 19). Dort, wo kurzfristig stärkere Belastungen auftreten, sollten auf jeden Fall schwerere Kokosgewebe (700 bzw. 900 g/m²) angebracht werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von ES-Matten und ES-Geweben zählt zu den ingenieurbiologischen Verfahren und bietet in der Regel einen zuverlässigen Schutz vor linearer Oberflächenerosion auf geneigtem Gelände. Gewöhnlich ist dieser Schutz mit Stroh- und Stroh/Kokosmatten in ausreichender Weise gewährleistet, zumal sich Ansaaten durch die besonders ausgeprägte Mulchwirkung dieser Produkte schneller entwickeln. Im Uferbereich von Binnengewässern ist dagegen der Einsatz der schwereren Kokosgewebe vorzuziehen. Sobald der Narbenschluss der Vegetation und das Wurzelsystem ausgebildet sind, übernimmt die Pflanzendecke den Erosionsschutz dauerhaft. Die Wirkung der beschriebenen Geotextilien ist daher – je nach Standort und Jahreszeit – auf einen Zeitraum von meist einigen Wochen bis zu wenigen Monaten begrenzt.

Großflächiger Massenversatz (z. B. Hangstürze und -rutschungen) und das Abrutschen von Oberbodenandeckungen können durch ES-Matten und ES-Gewebe nicht verhindert werden.

Erfahrungsgemäß werden die meisten Böschungen mit Strohmatten, Stroh/Kokosmatten und Jutegewebe gesichert. Dies liegt sicher auch darin begründet, dass der Einsatz dieser Produkte am wirtschaftlichsten ist. Im Deich- und Wasserbau kommen dagegen meist Kokosgewebe ≥ 700 g/m² zum Einsatz, seltener das Jutegewebe.

Im Zuge des globalen Klimawandels dürften sich die Winterniederschläge in Deutschland in den kommenden Jahrzehnten regionenabhängig um 10 bis 50 % erhöhen. Im Kontrast dazu ist – je nach Region – ein Niederschlags-Sommerdefizit von 10 bis 50 % zu erwarten. Gleichzeitig wird Prognosen zufolge die Niederschlagsvariabilität deutlich zunehmen, es wird also vermehrt mit Starkniederschlägen zu rechnen sein (Bloemer 2008; Spekat et al. 2007). Die Konsequenzen sind nicht nur häufigere und stärkere Hochwasserereignisse mit zunehmenden Schäden an Uferböschungen und Deichen, sondern auch eine erhöhte Tendenz zu intensiverer Erosion auf Böschungen und Hängen. Im Sommerhalbjahr ist vermehrt mit Dürreperioden zu rechnen. Vor diesem Hintergrund dürfte die Bedeutung von ES-Geweben und ES-Matten in der ingenieurbiologischen Sicherung für den Erosionsschutz und für die Förderung der Vegetationsentwicklung weiter zunehmen.

Literaturverzeichnis

Begemann, W.; Schiechtl, H. M. (1986): Ingenieurbiologie – Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. Wiesbaden, Berlin.

Bloemer, S. (2000): Böschungssicherung durch Extremflächenbegrünung: Hydraulische Nassansaat an der ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein/Main. – Jahrbuch 9 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. 2000: Ingenieurbiologie – Sicherung an Verkehrswegeböschungen, S. 393–406.

Bloemer, S. (2003): Erosionsschutz und Begrünung von Böschungen im Verkehrswegebau: Optimierung durch Rohbodenbegrünung statt Oberbodenandeckung. – Straßenverkehrstechnik 2/2003, S. 90–95.

Bloemer, S.; Egeling, S; Schmitz, U.: Deichbegrünungsmethoden im Vergleich: Sodenverpflanzung, Heudrusch®-Verfahren und Handelssaatgut im Hinblick auf Biodiversität, Natur- und Erosionsschutz. – Natur und Landschaft 82 (2007), Heft 6, S. 276–283.

Bloemer, S. (2008): Ingenieurbiologie und Klimawandel – worauf sich Planer und Unternehmen einstellen müssen. – Neue Landschaft 8/2008, S. 46–53.

Blume, H.P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg/Lech.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (2003): Landschaftsbauarbeiten VOB/StLB/STLK, DIN-Taschenbuch Nr. 81, 6. Auflage, 704 S.

Engelhardt, J. (2001): Das Heudrusch® – Verfahren im ingenieurbiologischen Sicherungsbau.- Ingenieurbiologie – Sicherung an Verkehrswegeböschungen. – Jahrbuch 9 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. 2000, S. 165–174.

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (1998): Empfehlungen zur Begrünung von Problemflächen. Bonn, 108 S.

Florineth, F. (2004): Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. 272 S., Berlin, Hannover.

Hacker, E.; Johannsen, R. (2012): Ingenieurbiologie. Stuttgart, 383 S.

Husicka, A (2003): Vegetation, Ökologie und Erosionsfestigkeit von Grasnarben auf Flussdeichen am Beispiel der Rheindeiche in Nordrhein-Westfalen. Dissertationes Botanicae 379, Cramer (Berlin - Stuttgart).

IGG Internationale Geotextil GmbH (http://www.roess-nature-group.de/igg)

Kirmer, A.; Tischew, S. (Hrsg.) (2006): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. 195 S., Wiesbaden.

Liebrand, C. (1999): Restoration of species-rich grasslands on reconstructed river dikes. – Agricultural University, Wageningen.

MST-Dränbedarf GmbH (http://www.mst-gruenfix.net/)

Pflug, W. (Hrsg.) (1988): Ingenieurbiologie – Erosionsbekämpfung im Hochgebirge. – Jahrbuch der Gesellschaft für Ingenieurbiologie 3, 251 S., Aachen.

Pflug, W.; Hacker, E. (Hrsg.) (1999): Ingenieurbiologie – Flussdeiche und Flussdämme, Bewuchs und Standsicherheit. – Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie, 501 S., Aachen.

Scheffer, F.; Schachtschnabel, P (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart.

Schlüter, U. (1996): Pflanze als Baustoff – Ingenieurbiologie in Praxis und Umwelt. Berlin, Hannover, 319 S.

SKZ-KFE GmbH; Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2011): Erarbeitung und Verifizierung von Auswahlkriterien für geosynthetische Erosionsschutzsysteme. – Schlussbericht der Forschungsstellen SKZ-KFE GmbH und Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau zu dem über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages geförderten Vorhaben 15717 N, 160 S.

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. – Publikationen des Umweltbundesamtes Januar 2007, 112 S. + 28 S. Anhang. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben, Förderkennzeichen 20441138.

Stalljann, E. (2000): Die Nassansaat als ingenieurbiologische Maßnahme im Straßenbau. – Ingenieurbiologie – Sicherung an Verkehrswegeböschungen. – Jahrbuch 9 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. 2000, S. 57–98.

Stalljann, E.; Bloemer, S. (2008): Vergleichende Bewertung von Faschinen und Flechtzäunen zur Böschungssicherung im Verkehrswegebau. – Straße und Autobahn 6, 2008, S. 347–351.

Stalljann, E. (2011): Gutachterliche Stellungnahme zum Thema Saatgutmatten und Nassansaat. – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Firma Bender GmbH & Co. KG.

Zeh, H. (2007): Ingenieurbiologie – Handbuch Bautypen. 5 Sprachen; Zürich, 441 S.