# Vermeidung von Böschungsschäden durch Erosion im Erd- und Verkehrswegebau – Ein Leitfaden für Planer und ausführende Unternehmen

#### Stephan Bloemer

Neu hergestellte Böschungen im Erd- und Verkehrswegebau sind besonders erosionsgefährdet. Erosion verursacht häufig schwere und kostspielige Schäden an Böschungen. Der Gefahr von Erosionsschäden kann jedoch schon bei der Projektplanung wirksam begegnet werden. Beachten auch die ausführenden Tiefbaufirmen und die ingenieurbiologisch tätigen Begrünungsunternehmen einige grundlegende Aspekte, kann Erosion weitgehend vermieden oder zumindest stark reduziert werden.

Newly constructed slopes in civil engineering are particularly endangered by soil erosion. Erosion may cause severe and expensive damage to slopes and embankments. The risk of erosion can be minimized already during project planning. Considering some constitutive aspects, contractors in civil engineering, revegetation and bioengineering should be able to prevent or to largely reduce soil erosion.

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

#### 1 Einleitung

Im Erd- und Verkehrswegebau entstehen regelmäßig und großflächig steile Einschnitts- oder Aufschüttungsböschungen mit Neigungen, die häufig zwischen 1:2 und 1:1,5 liegen. Derartig geneigte Flächen sind naturgemäß stark erosionsgefährdet. Bodenerosion entsteht vor allem durch die niederschlagsbedingte Ablösung und den hangabwärts gerichteten Transport von Bodenpartikeln und Bodenaggregaten. Folgen der Erosion sind besonders häufig lineare Schäden wie Rillen- und Rinnenerosion, die sich ohne Gegenmaßnahmen rasch zu schwerer Graben- und Tunnelerosion ausweiten können (Bilder 1 und 2). Zu den schweren Erosionsschäden zählen auch flächenhafte Ereignisse wie Hangrutsche und Rutschungen von Bodenandeckungen (Bild 3). Erosion an Verkehrswegen zerstört oder beeinträchtigt nicht nur materielle Güter, sie gefährdet unter Umständen auch die Unversehrtheit der Verkehrsteilnehmer.

Mit zunehmender Neigung und Hanglänge steigt die Erosionsgefahr an. Schluffreiche Böden (Löß, Lößlehm) und wenig kohäsive Sande sind besonders erosionsanfällig. Uferbereiche von stehenden und fließenden Gewässern (auch Entwässerungsgräben) sind der Erosion durch Wellenschlag und Strömung gleichfalls in besonderem Maße ausgesetzt. Tonreiche Böden dagegen sind durch ihre Aggregatsta-

bilität erosionsresistenter; Gleiches gilt für skelettreiche (steinige) Substrate durch den hohen Anteil an schweren, durch Wasser kaum abspülbaren Bestandteilen. Auch wenig oder nicht bindige Sande sind wegen ihrer guten Wasseraufnahmefähigkeit weniger erosionsgefährdet (Blume 1990, Scheffer & Schachtschabel 1998). Aufgrund des erhöhten Gewitter- und Starkregenaufkommens gelten in Mitteleuropa die Sommermonate als besonders

erosionsrelevantes und risikoreiches Zeitfenster. Aber auch im Winter droht auf unbewachsenen oder spärlich begrünten und ungesicherten Böschungen verstärkt Erosion durch Regen und Frost-Tau-Zyklen (Tabelle 1).

Unter Beachtung einiger relativ einfach umzusetzender Vorgaben im Bauablauf können Tiefbaubauunternehmen und Begrünungsfirmen die Gefahr von Böschungsschäden durch Erosion deutlich



Bild 2: Grabenerosion mit der Verfrachtung größerer Bodenmassen

zur Straße am Hangfuß

Bild 1: Rillenerosion auf einer steilen Auf-

schüttungsböschung

(Fotos 1-13 und 15:

im Straßenbau



Tabelle 1: Die wichtigsten Daten zu Ursachen und Wirkungen der Erosion sowie Gegenmaßnahmen.

Prozesse und Ursachen der Erosion*		Wirkung/Erosionsform*	Wichtgste Maßnahmen zum Erosionsschutz	
1	Massenversatz, Erdrutschungen	Abgänge angedeckter Bodenmassen und Erdrutsche unter Schwerkrafteinfluss, verursacht durch Wasserzufuhr, Schneelast, Temperaturwechsel; begünstigt durch höhere Tonanteile, glatte, verdichtete und stauende liegende Bodenlagen sowie mangelhafte und flache Durchwurzelung.	Verzicht auf Oberbodenandeckung oder Vermeidung von Bodenverdichtungen und glattem Abziehen von Böschun- gen vor Oberbodenauftrag (Oberfläche vor Oberboden- andeckung aufrauen); Bodenandeckungen mit Faschinen sichern; rasche und fachgerechte Begrünung.	
2	Luftsprengung und Ablösung von Bodenpartikeln durch rasches Befeuchten	Verursacht durch sommerliche Starkregen auf ausgetrocknete Bodenoberfläche; eindringendes Wasser schließt Luft ein, die zu hohem Druck komprimiert wird und zur Aggregatzerstörung führt.	Bodenverdichtung und glattes Abziehen von Böschungen vermeiden; Kalkung; Austrocknung reduzieren und verzögern mit Erosionsschutzmatten und Mulchdecken; Nassansaat nur mit Bodenkleber, Mulch und aggregatbildenden Zuschlagstoffen (Alginate, Tonminerale); rasche Vegetationsbedeckung sicherstellen.	
3	Ablösung von Bodenpartikeln durch Niederschläge (Regen- und Spritztropfen)	Zerteilung von Bodenaggregaten durch kinetische Energie der Regentropfen; Bodenpartikel werden abgelöst.	Direkten Kontakt Regentropfen/Bodenoberfläche vermeiden durch Abdeckung des Bodens (Erosionsschutzmatten, Strohmulchlagen); Nassansaat nur mit Bodenkleber, Mulch und aggregatbildenden Zuschlagstoffen (Alginate, Tonminerale); rasche Vegetationsbedeckung sicherstellen.	
4	Dispergierung zu primären Bodenteilchen	Zerfall zu leicht ablösbaren, kleinsten Bodenteil- chen durch hohen Anteil einwertiger Kationen (Na+, K+) am Ionenbelag und in der Bodenlösung	Kalkung; Einbringen aggregatbildender Zuschlagstoffe (Alginate, Tonminerale).	
5	Bildung verschlämmter Oberflächen durch Poren verstopfende Feinteile [verursacht durch 1) und 2)]	Verringerung der Infiltrierbarkeit des Bodens, dadurch Verstärkung des erosiv wirksamen Oberflächenabflusses	Bodenverdichtung und glattes Abziehen von Böschungen vermeiden; Kalkung; Erosionsschutzmatten und Mulchecken; Nassansaat nur mit Bodenkleber und Mulch. Poren schaffende Bodenlebewesen (Regenwürmer) fördern durch Mulch und organische Düngung; rasche Vegetationsbedeckung sicherstellen.	
6	Ablösung und Transport von Bodenpartikeln durch Oberflä- chenabfluss	Lockerung kleiner und größerer Bodenteilchen bis Steingröße durch Scherkräfte des abfließenden Wassers; Rillen-, Rinnen- und Graben (Gully-)ero- sion, Zerstörung des Böschungsprofils	Böschungsneigung und Hanglänge reduzieren; hangsenkrechte Reliefstrukturen vermeiden; Abfluss von Wasser über die Böschung vermeiden; Bodenverdichtung und glattes Abziehen von Böschungen vermeiden; Rauigkeit der Oberfläche erhöhen; Kalkung; Erosionsschutzmatten und -gewebe; Mulchdecken; Nassansaat nur mit Bodenkleber, Mulch und aggregatbildenden Zuschlagstoffen (Alginate, Tonminerale); Poren schaffende Bodenlebewesen (Regenwürmer) fördern durch Mulch und organische Düngung; rasche Vegetationsbedeckung sicherstellen.	
7	Frost-Tau-Zyklen	Lockerung der Bodenaggregate, erhöhter Oberflä- chenanfluss durch noch gefrorenes Bodenwasser	wie 6)	
8	Äolischer Einfluss (Wind)	Äolischer Korntransport durch Saltation (sprung- weiser Transport von Sandkörnern oder Bodenag- gregaten) und Reptation (rollende oder kriechende Bewegung von Sandkörnern oder Bodenaggrega- ten auf der Bodenoberfläche infolge des Aufpralls von springenden Sandkörnern). Große und flächi- ge Massenverlagerungen.	Windgeschwindigkeit durch Maßnahmen im Vorland reduzieren durch Hecken, Baumreihen, Raine; Kalkung; Abdeckung mit Erosionsschutzmatten und -geweben; Nassansaat nur mit Bodenkleber, Mulch und aggregatbildenden Zuschlagstoffen (Alginate, Tonminerale); rasche Vegetationsbedeckung sicherstellen.	

<sup>\*</sup>nach Scheffer & Schachtschabel 1998

reduzieren. Aber schon in der Planungsphase einer jeden Baumaßnahme sollten seitens der ausschreibenden Institutionen präventive Maßnahmen gegen Erosion ergriffen werden.

#### 2 Erdbauliche Maßnahmen

### 2.1 Böschungsneigung und Hanglänge reduzieren

Auf geneigten Flächen entsteht durch Niederschläge ein Oberflächenabfluss, wenn die Niederschlagsmenge die Infiltrationsrate – also die je Zeiteinheit in den Boden versikkernde Wassermenge – übersteigt. Auf

durchlässigen Böden mit hohen Infiltrationsraten und somit hoher Wasserleitfähigkeit (z. B. Sande, skelettreiche Substrate) bildet sich weniger Oberflächenab-fluss als auf weniger durchlässigen Böden (z. B. bindige, lehm- und tonreiche Böden). Oberflächenabfluss wirkt als Transportmedium für Bodenpartikel und damit als wesentlicher Faktor für Bodenerosion. Da sich der Abfluss häufig auf einzelne lineare Schwerpunkte (Vertiefungen, Mulden, Furchen) konzentriert, kann er hier Kräfte wie ein Fließgewässer entwickeln und Aggregate und Bodenteile bis zu Steingröße transportieren (Scheffer & Schachtschabel 1998).

Die Geschwindigkeit des abfließenden Wassers und damit dessen erosive Kraft steigen mit zunehmender Reliefenergie, also mit wachsender Böschungsneigung und -länge. Flacher gestaltetes Gelände und geringere Hanglängen oder durch Bermen unterbrochene bzw. terrassierte Böschungen reduzieren die Geschwindigkeit und die Menge des Oberflächenabflusses und damit die Gefahr von Erosionsschäden. Leider nimmt der Flächenbedarf mit abnehmender Hangneigung und/oder einer Terrassierung zu, sodass diese erosionsvermindernden Maßnahmen längst nicht überall realisiert werden kön-



Bild 3: Rutschung einer Oberbodenandeckung durch mangelnde Verzahnung mit dem Unterboden bzw. fehlende Sicherung durch Faschinen



Bild 4: Glatt abgezogene und verdichtete Böschungen erhöhen den Oberflächenabfluss und sind keine gute Voraussetzung für eine erfolgreiche Begrünung

nen. Wo immer aber die Möglichkeit besteht, sollte die Gefahr von Böschungsschäden durch Erosion mit diesen relativ einfach zu realisierenden erdbaulichen Mitteln von Beginn an minimiert werden.

# 2.2 Bodenverdichtung und glattesAbziehen von Böschungen vermeiden;Rauigkeit der Oberfläche erhöhen

Maschinelle Bodenverdichtungen führen zu einer reduzierten Infiltration und damit einem erhöhten Oberflächenabfluss. Das Befahren mit schwerem Gerät und das Andrücken von Bodenmassen bei der Böschungsmodellierung in den oberen, gleichzeitig vegetationsrelevanten Bodenlagen sind kontraproduktiv und fördern den Oberflächenabfluss. Auch das im Erdbau übliche glatte Abziehen der Böschungen mit dem Langarmbagger ohne Rücklockerung sollte vor allem bei bindigen Böden unbedingt unterbleiben. Durch das glatte und verdichtend wirkende Abziehen werden das Bodengefüge zerstört und Bodenporen verschlossen; die Wasseraufnahmefähigkeit wird stark reduziert, was zugleich den erosionsrelevanten Oberflächenabfluss begünstigt. Bei Austrocknung der Tonminerale bildet sich dagegen durch Volumenschrumpfung eine krustenartig verhärtete, rissige Oberfläche mit ungünstigen Eigenschaften für eine Begrünung (Bild 4).

Bodenverdichtung und das glatte Abziehen von Böschungen beeinträchtigen zugleich das Pflanzenwachstum, welches für einen dauerhaften Erosionsschutz unbedingt erforderlich ist. Das Eindringen der Wurzeln in den Boden ist stark erschwert, die Durchwurzelung bleibt dürftig und flachgründig. Es kann zu Sauerstoffmangel im Wurzelraum kommen. Die Entwicklung von Ansaaten auf verdichteten oder glatt abgezogenen Böden verläuft daher

häufig stark verzögert und unvollständig, und großflächige Ausfälle sind nicht auszuschließen. Eine lückige und flachgründig wurzelnde Vegetation bietet keinen ausreichenden Schutz vor Schäden durch Erosion (Bloemer & Diekhoff 2013).

Verdichtungen werden vermieden oder reduziert, wenn der Einbau von Bodenmassen vor allem bei tonmineralreichen Böden nur bei einem Wassergehalt unterhalb der Ausroll- bzw. Plastizitätsgrenze erfolgt. Diese Grenze kann durch Ausrollen

einer Bodenprobe mit der Hand ermittelt werden und gilt als Richtschnur für die Bearbeitbarkeit eines Bodens (technologische Nässegrenze).

Hinsichtlich der Behandlung einzusäender Ober- und Rohböden sind die Vorgaben der DIN 18915 zu beachten. Böden, die als Wurzelraum dienen, benötigen eine angemessene Regenerationszeit; darüber hinaus ist eine Bodenlockerung (bei Flächenneigung bis 1:2,5) bzw. das Aufrauen des Bodens (bei Flächenneigung über 1:2,5)







Bild 5: Diese hangparallele Bodenprofilierung wurde durch hangsenkrechtes Befahren mit einer Raupe herbeigeführt. Auf diese Weise wird erosionsfördernder Oberflächenabfluss erschwert und die Versickerungsrate erhöht, was die Wasserversorgung der hier gerade erfolgenden Begrünung (Nassansaat) verhessert



Bild 6: Durch maschinelle Böschungsbearbeitung entstandene Furchen mit hangsenkrechtem Verlauf. Solche Strukturen sind unbedingt zu vermeiden, weil Oberflächenabfluss das vorgegebene Relief nutzt und die Furchen erosiv immer weiter vertieft



Bild 7: Starke Erosionsschäden auf einer Dammböschung durch Wasserableitung von der oberhalb verlaufenden Straße über die Böschung



Bild 8: Faschinen als zuverlässiger Schutz vor dem Abrutschen der aufzubringenden Oberbodenandeckung

erforderlich, um das vollflächige Auflaufen der Ansaat zu ermöglichen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2013). Werden diese Vorgaben umgesetzt, ist die Gefahr von Erosion deutlich geringer, weil sich die Vegetation schneller, gleichmäßiger und vitaler entwickelt.

Erfahrungsgemäß wird das DIN-konforme Auflockern oder Aufrauen des Bodens durch die Bauunternehmen häufig nicht realisiert. Notfalls kann auch das hangsenkrechte Befahren mit einer Raupe praktiziert werden, was zu einer hangparallelen Bodenprofilierung führt (Bild 5). Dieses Mikrorelief reduziert den Oberflächenabfluss, erhöht die Versickerungsrate und führt damit zu einer verbesserten Wasserversorgung für die Vegetation. Sämtliche Aspekte tragen zur Vermeidung oder Reduzierung von Erosionsschäden bei.

### 2.3 Hangsenkrechte Reliefstrukturen vermeiden

Erosion verursachender Oberflächenabfluss konzentriert sich in der Regel auf lineare Bahnen. Die Bearbeitung von Böschungen, z. B. durch Raupen (hangparalleles Befahren) und Baggerschaufeln, hinterlässt häufig senkrechte, in der Hangfalllinie verlaufende Furchen und Mulden, in denen Niederschlagswasser abfließt und starke Erosionsschäden verursacht (Bild 6). Die maschinell in den Hang modellierten Furchen werden dabei erosiv vertieft und können sich zu tiefen Gräben entwickeln, die das Böschungsprofil zerstören. Auf solchen Böschungen entwickeln sich Ansaaten zudem häufig nur zu einem schütteren Bestand, weil Saatgut und Jungpflanzen in den Furchen abgespült werden und auf den Rippen zwischen den Furchen nicht genügend Wasser zur Verfügung steht (Bloemer & Diekhoff 2013). Bodenstrukturen, die quer zum Gefälle verlaufen, bremsen den Oberflächenabfluss und helfen so, Erosion zu bekämpfen.

# 2.4 Ableitung von Wasser über die Böschung vermeiden

Bei der Herstellung von Böschungen ist gemäß DIN 18918 zu gewährleisten, dass kein Oberflächenwasser von oberhalb der Böschung unkontrolliert über die Böschung abgeleitet wird (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2013). Die Böschung hinabfließendes Wasser führt unweigerlich zu meist starken Erosionserscheinungen (Bild 7). Es sind geeignete

bauliche Maßnahmen oberhalb der Böschung (Drainage- und Abflussgräben, kleine Dämme mit gezielten Abflussstellen etc.) zu ergreifen, um solche Schäden zu verhindern.

# 2.5 Verschlämmung vermeiden und Gefügebildung fördern

Bei zunehmender Sättigung der Bodenaustauscher (z. B. Huminstoffe und Tonminerale) mit zweiwertigen Kationen (z. B. Ca<sup>2+</sup>) verbinden sich die primären Bodenteilchen durch Koagulation (Flockung) miteinander. Dieser Vorgang führt zur Gefügebildung und stabilisiert den Boden. Durch Gefügebildung vergrößert sich auch das Porenvolumen, sodass Niederschlagswasser besser in den Boden eindringen kann und so der Oberflächenabfluss reduziert wird (Scheffer & Schachtschabel 1998). Besonders erosions- und verschlämmungsanfällig sind schluffreiche Lehme, die durch eine ausreichende Calciumsättigung stabilisiert werden kön-nen. Dies wird durch eine angemessene Düngungskalkung erreicht, die am besten schon vor der Verarbeitung gefährdeter Böden erfolgen sollte. Der Kalkbedarf kann problemlos im Labor ermittelt werden. Die Düngungskalkung dient in erster Linie der Gefügeverbesserung und darf nicht verwechselt werden mit den im Erdbau üblichen Stabilisierungsverfahren mit kalkhaltigen Bindemitteln zur Erzielung eines standfesten und tragfähigen Untergrunds!

#### 2.6 Verzicht auf Oberbodenandeckung

Wo immer die Möglichkeit besteht, im Zuge von Baumaßnahmen anfallende Oberbodenmassen anderweitig zu verwenden als durch deren Auftrag auf Böschungen zwecks nachfolgender Begrünung, sollte diese unbedingt genutzt werden. Oberbodenandeckungen werden häufig ohne ingenieurbiologische Sicherung gegen Abrutschen auf steile Böschungen aufgebracht und erweisen sich häufig als nicht lagestabil (Bild 3). Aber nicht nur in erosionsschutztechnischer, sondern auch in standortkundlicher, vegetationsökologischer, ästhetischer und wirtschaftlicher Hinsicht sollten Oberbodenandeckungen unterbleiben; stattdessen können - unter Einsatz geeigneter Verfahren meist ohne Probleme - die vorhandenen Rohböden begrünt werden. Die ausgeprägte Bodengrenzschicht Rohboden/Oberbodenandeckung verhindert meist wirksam eine ausreichend schnelle und tiefgründige Durchwurzelung, sodass sich Rutschungen häufig selbst dann noch ereignen, wenn die Böschung bereits begrünt ist. Die Rohbodenbegrünung ist heute bei professionellen Begrünungsunternehmen Stand der Technik und für manche Begrünungen, wie z. B. die Gehölzansaat, sogar Voraussetzung für den Erfolg der Maßnahme (Werpup 2013, Hacker & Johannsen 2012, Bloemer 2003a, Bloemer 2002, Bloemer 2000).

#### 3 Ingenieurbiologische Böschungssicherungen

# 3.1 Bodenandeckungen mit Faschinen sichern

Ist der Verzicht auf eine Oberbodenandekkung keine Option, weil eine anderweitige Verwertung für bauseits anfallende Bodenmassen nicht möglich ist, muss der anzudeckende Oberboden auf Böschungen gegen Rutschung und Erosion gesichert werden. Durch eine ausreichende Verzahnung zwischen Unter- und Oberboden, z. B. durch das Aufrauen des Rohbodenplanums vor dem Aufbringen des Oberbodens, kann die Gefahr von Rutschungen redu-

ziert werden. In den meisten Fällen - vor allem bei bindigen Böden - sind jedoch zusätzliche ingenieurbiologische Maßnahmen erforderlich. Die beste und zuverlässigste Methode ist der Einbau von Faschinen (Bild 8). Diese werden zwecks kontrollierter Ableitung von Wasser meist mit einer Neigung von 20-30° zur Horizontalen eingebaut. Sie wirken als Barrieren, die den rutschungsgefährdeten Oberbodenauftrag halten und die vom angedeckten Boden ausgeübten Kräfte aufnehmen. Im Laufe der Zeit füllen sich die Faschinenwalzen mit Bodenpartikeln (eingeschwemmtes und gefiltertes Sediment), was ihre Wirkung als bremsende Barriere noch erhöht (Zeh 2007). Faschinen wirken gleichzeitig dränend, da sie Wasser im Hang kontrolliert und schadlos zum Böschungsfuß ableiten. Die gleichfalls häufig ausgeschriebenen und eingebauten Flechtzäune und Schwartenbretter sollen im Prinzip denselben Zweck wie Faschinen erfüllen; sie sind aus fachlicher Sicht trotz höherer Kosten jedoch weniger effektiv als diese, weil Faschinen eine stabilere Bauweise darstellen und durch ihre dränende Wirkung eine gezielte Entwässerung der Böschung ermöglichen (Stalljann & Bloemer 2008).

Gewöhnlich werden nicht austriebsfähige Totholzfaschinen verwendet. Werden austriebsfähige, lebende Weidenfaschinen eingebaut, wird dem Boden durch den Wasserverbrauch der Wurzeln bildenden Weiden Wasser entzogen, was der Erosion zusätzlich vorbeugt. Können die Wurzeln die Grenzschicht Unterboden/Oberbodenandeckung überwinden, wird zudem der Schutz vor Rutschungen durch die Verzahnung zwischen Untergrund und Bodenandeckung verbessert. Allerdings handelt es sich bei steilen Böschungen mit Oberbodenaufträgen häufig um exponierte, durch die Bodengrenzschicht geprägte Trockenstandorte, welche die Wurzelbildung und das Anwachsen der Weiden häufig nicht in ausreichendem Maße erlauben.

Entgegen verbreiteter Meinung sind Erosionsschutzmatten oder -gewebe nicht geeignet, Bodenrutschungen zu verhindern (siehe Abschnitt 3.2).

# 3.2 Erosionsschutzmatten und -gewebe (Geotextilien) einsetzen

Rinnen- und Rillenerosion sowie daraus hervorgehende schwerwiegendere Bö-

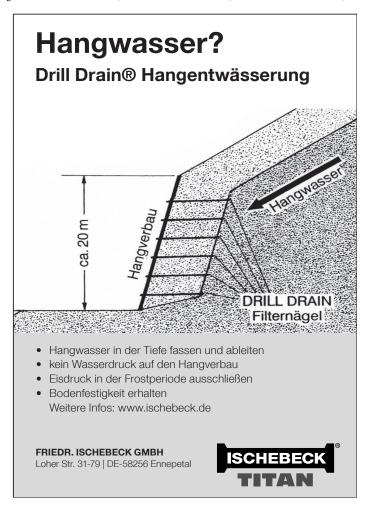






Bild 9: Beschleunigung des Auflaufens der Ansaat mittels Erosionsschutzmatten aus Stroh/Kokos auf einem sandigen Böschungsstandort



Bild 10: Applikation einer Mulchschicht aus Langstroh mit einem Spezialgebläse auf steile Fin-schnitthöschung

schungsschäden entstehen häufig dann, wenn der Standort oder die jahreszeitliche Situation eine ausreichend schnelle Begrünung nicht zulassen. Manche Rohböden wie sorptionsarme Sande und Kiese oder skelettreiche Böden wie Schotter, Geröll und Verwitterungsgrus haben nur eine geringe Speicherkapazität für Wasser und Nährstoffe, sodass die Etablierung einer schützenden Vegetationsdecke mehrere Monate in Anspruch nehmen kann. Auch auf tonigen, bindigen und schluffreichen Substraten kann, sofern diese verdichtet und glatt abgezogen sind, durch Sauerstoffmangel im Boden und eine krustenartig verhärtete Oberfläche häufig eine verzögerte Vegetationsentwicklung beobachtet werden. Fällt die Ansaatzeit kurz vor oder in die Sommermonate oder in den Spätherbst oder Winter, kann sich der Aufwuchs der Saat aufgrund von Trockenheit und hohen Temperaturen bzw. Kälte gleichfalls deutlich in die Länge ziehen. Schließlich wirken sich mikroklimatische Einflüsse häufig entwicklungsverzögernd aus. Besonders südexponierte Böschungen sind tagsüber häufig extrem hohen Temperaturen ausgesetzt, was die Vegetationsentwicklung stark hinauszögert. Solche Böschungsstandorte werden mittels Anbringung von Geotextilien (Erosionsschutzmatten und -gewebe) zuverlässig vor Oberflächenerosion geschützt, bis die Vegetation diese Aufgabe durch ausreichende Wurzelbildung übernimmt.

Erosionsschutzmatten haben einen Flächenabdeckungsfaktor von nahezu 100 % und werden nach der Ansaat (auf Böschungen in der Regel als Nassansaat) verlegt. Mit Begrünungsmatten (vergleichbar den Erosionsschutzmatten, jedoch mit eingearbeitetem Saatgut) lässt sich erfahrungsgemäß häufig kein gleichmäßiges und dichtes Aufwuchsergebnis erzielen, weshalb Erosionsschutzmatten bevorzugt

werden sollten (Bloemer 2012, Hacker & Johannsen 2012, Stalljann 2011). Je nach erforderlicher Funktionsdauer können Stroh-, Stroh/Kokos- oder Kokosmatten eingesetzt werden, wobei die reine Kokosmatte die längste Lebensdauer (ca. 3 Jahre) aufweist. Durch die Bodenabdeckung lässt sich mit Matten zugleich ein hervorragender Mulcheffekt erzielen mit einer für die Keimung und Entwicklung der Vegetation deutlich begünstigenden und beschleunigenden Wirkung (Bild 9).

Erosionsschutzgewebe sind grobmaschige Produkte aus reinen Kokos- oder Jutefasern mit einer Lebensdauer von etwa 2 bis 4 Jahren. Ihr Flächenabdeckungsfaktor ist mit ca. 35 % bis > 65 % deutlich geringer als der von Erosionsschutzmatten, weshalb sie sowohl vor als auch nach der Ansaat (in der Regel als Nassansaat ausgeführt) angebracht werden können. Durch die relativ große Maschenweite sind der Schutz des Bodens vor Niederschlägen und die Mulchwirkung bei Geweben geringer als bei Matten. Gewebe reduzieren durch ihre Rauigkeit dennoch signifikant die Erosionsgefahr (SKZ-KFE gGmbH & Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2011), und die Böschungsoberfläche ist besser gegen Witterungseinflüsse geschützt. Die Vegetationsentwicklung wird somit auch bei Geweben begünstigt, allerdings in geringerem Maße als bei den Matten. Die Verwendung der vergleichsweise zugfesten und schweren Gewebe ist sinnvoll, wenn mit dem Auftreten erhöhter Zugkräfte (z. B. durch Bodensetzungen) zu rechnen ist, oder wenn die Gefahr der Einwirkung von erosiv wirkendem Oberflächengewässer besteht (z. B. Ränder von Gräben und Rückhaltebecken, Böschungen von Flussdeichen). Flussdeiche mit geringer Strömung und Wirbelbildung bei Hochwasser können erfahrungsgemäß mit Jutegewebe (500 g/m<sup>2</sup>) gesichert werden; größere Belastungen erfordern schwerere Kokosgewebe (700 bzw. 900 g/m²). Bei starken Strömungen und Wirbeln in Fließgewässern und dauerhaftem Wellenschlag kommen nur spezielle ingenieurbiologische Verfahren des Wasser- und Uferverbaus in Betracht (Bloemer 2012).

#### 4 Begrünung

Eine standort- und fachgerechte Begrünung ist die sicherste und nachhaltigste Methode zur Erzielung eines zuverlässigen und dauerhaften Erosionsschutzes. Leider werden längst nicht alle Böschungsbegrünungen diesem Anspruch gerecht. Schon die Leistungstexte in Ausschreibungen entsprechen vielfach nicht den notwendigen und DIN-gerechten Anforderungen (Bloemer 2003b), und bei der Durchführung von Begrünungen werden nicht selten elementare Aspekte übersehen oder schlicht ignoriert. Eine misslungene oder zu schüttere Begrünung kann aber der Erosion keinen ausreichenden Widerstand bieten.

### 4.1 Böschungen nur per Nassansaat begrünen

Zuweilen werden Böschungen oder Böschungsabschnitte zwecks vermeintlicher Kostenersparnis seitens der Bauunternehmen begrünt, indem Saatgut von Hand aufgestreut wird. Allzu oft ist diese Art der Begrünung mangelhaft, weil einerseits eine gleichmäßige Verteilung und korrekte Aufwandmenge kaum realisierbar sind, und weil andererseits weder Kleber noch weitere eventuell erforderliche Zuschlagsstoffe wie Dünger, Bodenverbesserungsmittel oder Mulch aufgebracht werden. Böschungsansaaten ohne Kleber haben fast immer die hangabwärts gerichtete Verlagerung von Saatgut durch nieder-

schlagsbedingte Abspülung zur Folge (siehe Abschnitt 4.3). Auf Böschungen sind die gem. DIN 18917 notwendigen Arbeitsschritte (Aufrauen des Substrats, Einarbeiten des Saatguts im Bereich < 1 cm, Anwalzen) nur mit sehr hohem Aufwand durchführbar. Der Verzicht auf einen oder mehrere dieser Arbeitsschritte kann zu Aufwuchsmängeln und damit Schwachstellen im Erosionsschutz führen. Insbesondere der langfristige Schutz vor Erosionsschäden über die erste Anwuchsphase hinaus ist nur durch eine fach- und normgerechte Ansaat zu erzielen. Böschungen können daher nur per Nassansaat (Anspritzbegrünung, Hydrosaat) gemäß DIN 18918 zuverlässig und fachgerecht begrünt werden (Bloemer 2000, Stalljann 2000, FLL 1998) (Bild 5).

#### 4.2 DIN 18918 beachten

Mithilfe der DIN 18918 werden Standorte nach Boden, Klima und Erosionsgefahr nach einem einfachen Schema bewertet. Gleichzeitig können die für eine erfolgreiche Begrünung erforderlichen Zuschlagsstoffe dem jeweiligen Standort mit einem Schlüssel zugeordnet werden. Die empfohlenen Aufwandmengen von Düngemitteln, Bodenverbesserungsstoffen, Mulch und Kleber können anhand einer Tabelle ermittelt werden (DIN Deutsches Institut für Normung 2013). Die DIN müsste in einigen Punkten zwar aktualisiert werden; so sind z. B. die Aufwandmengen für organische Dünger zu gering angesetzt, und der Einsatz mancher Produkte (z. B. Torf, Komposte) ist durchaus kritisch zu sehen. Sie dient aber nach wie vor als Grundlage für die Erstellung von Begrünungsrezepturen für Planer und ausführende Unternehmen.

#### 4.3 Böschungsansaaten nicht ohne Erosionsschutzmittel (Kleber)

Vom Zeitpunkt der Ansaat bis zur Keimung und Vegetationsentwicklung vergehen meist einige Wochen, bei ungünstiger Jahreszeit durchaus auch mehrere Monate. Während dieser Zeit sind Böschungen und Saatgut – sofern sie nicht mit Geotextilien gesichert wurden – ungeschützt und besonders erosions- bzw. abspülungsgefährdet. Im Zuge der Nassansaat müssen daher gemäß DIN spezielle Erosionsschutzmittel (Kleber) eingesetzt werden, die Saatgut und Zuschlagstoffe auf der Bodenoberfläche fixieren und gleichzeitig Bodenpartikel festlegen. Meist werden flüssige Konzentrate auf der Basis von Polymerdisper-

sionen und Polymeremulsionen oder Trokkenkonzentrate auf Carbohydratbasis verwendet. Diese Produkte sind ökologisch unbedenklich und beeinflussen die Ansaat bei sachgerechter Anwendung nicht oder nur in sehr geringem Ausmaß.

#### 4.4 Ausreichend mulchen

Eine Abdeckung ungeschützter Bodenoberflächen mit organischen Fasern wie Stroh im Zuge der Nassansaat schützt den Boden vor der erosiven Kraft des Niederschlags und verzögert und bremst den Oberflächenabfluss. Durch die temperaturausgleichende Wirkung und den Verdunstungsschutz werden Keimung und Vegetationsentwicklung im Sinne eines zuverlässigen Erosionsschutzes beschleunigt (Tabelle 2). Darüber hinaus wird die Bodenstabilität durch die Förderung des Bodenlebens und die damit einhergehende Aggregatbildung verbessert. Aufgrund der besseren und länger anhaltenden Wirkung sollte Langstroh gegenüber Strohhäckseln bevorzugt werden (Florineth 2004, FLL 1998, Begemann & Schiechtl 1986). Wichtig ist eine ausreichende Bemessung (Mindestaufwandmenge nach DIN 18918: 300

g/m²) und die Zugabe von Zellulose und Kleber zwecks sicherer Fixierung der Strohfasern auf der Böschung (Bild 10). Die effektivste und dauerhafteste Mulchwirkung (≥ 1 Jahr) ist jedoch die Abdeckung mit Erosionsschutzmatten aus Strohund/oder Kokosfasern. Damit ist die Böschung zugleich zuverlässig gegen Oberflächenerosion geschützt (Bloemer 2012).

### 4.5 Nur standortgerechtes Saatgut verwenden

Nur standortgerechtes Saatgut vermag Böschungen zuverlässig und dauerhaft vor Erosion zu schützen. Doch was ist standortgerechtes Saatgut? Zur Beantwortung dieser Frage muss neben der Bodenart, dem Humusgehalt und der zur Verfügung stehenden Feuchtigkeit auch der geografische Naturraum bedacht werden, in dem die Baustelle liegt. Böschungen sind meist eher trockene bis sehr trockene Standorte und erfordern entsprechend trockenheitstolerante Saatgutmischungen mit einem möglichst hohen Kräuteranteil. Beckensohlen und Gräben sind eher feucht, sodass hier Saatgut von Sickerrasen, Rasen für Feuchtlagen, Ufer- und Feuchtwiesen





Tabelle 2: Wirkung einer Strohmulchschicht auf die Temperatur der Bodenoberfläche [°] nach SKIRDE 1978 (aus: Hacker & Johannsen 2012)

	ohne Str	ohmulch	mit Strohmulch	
Datum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
22.3.1977	1	21	5	12
23.3.1977	2	23	3	13
24.3.1977	5	30	6	20
25.3.1977	6	30	8	20
26.3.1977	5	26	7	18
27.3.1977	3	20	4	14
28.3.1977	-3	20	2	15

geeignet sind. Auf nährstoffarmen Rohbodenböschungen eignen sich entsprechende Mager- und Trockenrasen.

Vollkommen ungeeignet sind - selbst auf mit Oberboden angedeckten Böschungen besonders preisgünstige Saatmischungen, die überwiegend oder sogar ausschließlich aus Weidelgras (Lolium perenne) bestehen. Diese Art keimt unter günstigen Bedingungen zwar schon nach einer Woche, ist auf den meisten Böschungsstandorten als stickstoffliebender Frischezeiger standortfremd und daher nicht beständig (Ellenberg 1991). Der Anteil von Weidelgras als Schnellkeimer sollte in Saatmischungen nicht mehr als 5-10 % betragen. Leider kann dennoch immer wieder beobachtet werden, dass - offenbar zum Zwekke der Kostenersparnis - trotz anderslautendem Leistungstext stark weidelgraslastige Mischungen auf Böschungen und Rohböden ausgesät werden. Aufgrund der kurzen Auflauffrist erscheinen solche Flächen im ersten Jahr oft gut begrünt; doch schon nach zwei bis drei Jahren wird die Vegetationsdecke schütter und bietet der Erosion so keinen ausreichenden Widerstand.

Zurzeit werden für Böschungsbegrünungen immer noch relativ häufig, aber mit deutlich abnehmender Tendenz, standardisierte, arten- und kräuterarme Landschaftsrasen aus Zuchtsorten (Regelsaatgut) verwendet. Vor allem auf trockenen und nährstoffarmen Rohböden erzielen diese Mischungen mangels Standorteignung meist keinen guten Begrünungserfolg (Bild 11). Abhilfe schafft Saatgut aus regional vermehrten Wildbeständen (Regio-Saat) oder Diasporen aus Druschgut und Heumulch, bei denen vorhandene, möglichst artenreiche Spenderflächen mit Wildbeständen in möglichst geringer Entfernung zur jeweiligen Baustelle beerntet und auf die zu begrünenden Empfängerflächen ausgebracht werden. Saatgut dieser Herkunft ermöglicht auch und gerade auf Rohböden eine ganz andere Begrünungsqualität und damit einen besseren Schutz vor Erosion (Bild 12). Ab 2020 darf gemäß Bundesnaturschutzgesetz (§ 40 Abs. 4 BNatSchG) in der freien Landschaft ohnehin kein Pflanzenmaterial mehr verwendet werden, das seinen genetischen Ursprung nicht in der jeweiligen Region hat. Bis dahin gilt eine Übergangsregelung, während der der Markt für die Produktion von regionalem Saatgut weiter ausgebaut werden soll (Barsch 2013). Qualifizierte Saatgutlieferanten und Begrünungsunternehmen können diese neuen Standards bereits heute erfüllen und entsprechendes Saatgut liefern.

### 4.6 Schnell keimende Ammensaaten einsetzen

Ein- oder zweijährige Gräser keimen meist deutlich schneller als ausdauernde Arten, um eine rechtzeitige Samenreife vor dem Absterben zu gewährleisten. Außerdem sind sie häufig kälteresistenter. Neben einem ausreichenden Wasserdargebot ist die Temperatur für die Keimung und das Pflanzenwachstum maßgebend. Die Temperaturempfindlichkeit ist artspezifisch. Der häufig als Ammengras eingesetzte Roggen (Secale cereale) keimt schon bei Temperaturen knapp über 0 °C und ist sehr robust gegenüber Kahlfrösten. Wintergerste (Hordeum vulgare) wächst besonders gut bei Temperaturen unter 10 °C. Die meisten Dauergräser benötigen dagegen als Mindestkeimtemperatur ≥ 5 °C. Die optimalen Keimtemperaturen für heimische Rasengräser liegen zwischen 16 und 23 °C (Boksch 2001). In erosionsschutztechnischer Sicht ist der schnell keimende und als Intensivwurzler bis zu 1 m tief wurzelnde Roggen von besonderer Bedeutung. Als anspruchslose und rasch keimende

Ammengräser werden häufig auch die Roggentrespe (Bromus secalinus) und das Vielblütige Weidelgras (Lolium multiflorum) verwendet. Alternativ können auch einjährige zweikeimblättrige Ammenpflanzen wie Weißer Senf (Sinapis alba), Gartenkresse (Laepidium sativum) und Gemeiner Lein (Linum usitatissimum) eingesetzt werden. Sie sind jedoch frostempfindlich und eignen sich nicht für Ansaaten vom Herbst bis zum zeitigen Frühjahr. Ammensaaten sind somit für die rasche Durchwurzelung von Böschungen und die Erzielung eines schnellen Erosionsschutzes von Bedeutung. Bei fachgerechter Aufwandmenge stellen sie keinen Konkurrenzfaktor dar, sondern beschirmen die langfristig zu etablierenden Rasengräser und fördern deren Aufwuchs (Bild 13).

# 4.7 Ausreichende und nachhaltige Nährstoffversorgung sicherstellen

Die wichtigsten Nährelemente werden als Makronährstoffe bezeichnet. Nichtmetallische Nährstoffe, zu denen Stickstoff (N), Phosphor (P) und Schwefel (S) zählen, dienen als Bausteine grundlegender Moleküle für pflanzliches Leben. Metallische Nährstoffe, zu denen Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) gehören, haben essenzielle und spezifische funktionelle Aufgaben. Stickstoff ist für die Chlorophyllbildung, die Protein- und Aminosäuresynthese in der Pflanze essenziell; Phosphor ist für den Energiehaushalt der Pflanze (Adenosintriphosphat als wichtigster Energiespeicher) von enormer Bedeutung und Baustein der Erbsubstanz DNA. Kalium hat als osmotisch wirksames Element einen beträchtlichen Einfluss auf die Wasseraufnahme und damit auf die Dürreund Kälteresistenz der Pflanze (Amberger 1996).

Entscheidend ist nicht nur das richtige Nährstoffverhältnis, sondern auch die geeignete Düngerform mit nachhaltiger Wirkung. Mineraldünger sind in der Regel wasserlöslich und sollten auf durchlässigen Böden (Sande, skelettreiche, wenig bindige Böden) wegen der Auswaschungsgefahr und der damit verbundenen Belastungen von Grund- und Oberflächenwasser nicht oder nur sehr sparsam dosiert verabreicht werden. Während der Vegetationsruhe, in der Pflanzen kaum Nährstoffe aufnehmen, sollte aus demselben Grund auf Mineraldünger verzichtet werden. Häufig wird ein Großteil der in Mineraldüngern enthaltenen Nährstoffe bereits vor der Keimung der Saat freige-



Bild 11: Ergebnis einer Ansaat mit Regelsaatgut auf trockenen und nährstoffarmen, kiesigen Sand. Auf solchen Standorten sind mit artenreichem Regio-Saatgut deutlich bessere Ergebnisse erzielbar



Bild 12: Ergebnis einer Ansaat mit Regio-Saatgut auf nährstoffarmen Böschungsstandort. Trotz ausgeprägter Südexponierung und damit extrem trockenen Bedingungen konnte ein dichter und artenreicher Bestand etabliert werden



Bild 13: Diese steile Böschung wird durch schnell keimenden und tief wurzelnden Roggen als Ammengras vor Erosion geschützt. Der Roggen war frühzeitig vor allen anderen Pflanzen aufgekommen

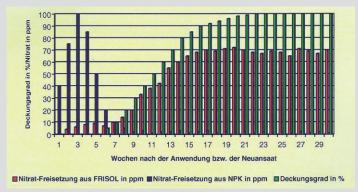


Bild 14: Korrelation zwischen der Vegetationsentwicklung einer Grasansaat auf sandigem Rohboden und der Freisetzung von NO<sub>3</sub> (Nitrat) bei Düngung mit einem organischen Dünger (Frisol) bzw. Mineraldünger (aus: Stalljann 1999)

setzt und steht den Jungpflanzen damit gar nicht zur Verfügung (Bild 14). Die Folge einer reinen Mineraldüngung ist vor allem bei Rohböden häufig eine als zuverlässiger Erosionsschutz nicht geeignete, schüttere Vegetation.

Durch Ummantelung besser vor Auswaschung geschützte Mineraldünger können diesbezüglich zwar eine gewisse Abhilfe schaffen, sind aus ökonomischen Erwägungen (hoher Preis) und Umweltgesichtspunkten (salz- und schwermetallhaltige Inhaltsstoffe) jedoch gleichfalls keine optimale Lösung. Wesentlich nachhaltiger sind organische Dünger, deren Nährstoffe nicht durch Lösung in Wasser, sondern nur allmählich durch mikrobielle Aktivität freigesetzt werden und der Vegetation daher ab dem Zeitpunkt der Keimung in nahezu vollem Umfang zur Verfügung stehen (Bilder 14 und 15). Mikrobieller Düngerabbau und pflanzliche Nährstoffaufnahme sind zeitlich meist eng gekoppelt, sodass es beim Einsatz organischer Dünger kaum zu Auswaschungsverlusten kommt. Darüber hinaus wirken organische Dünger hinsichtlich verschiedener Eigenschaften bodenverbessernd (Stalljann 2000). Sämtliche Dünger werden zusammen mit weiteren Komponenten per Nassansaat appliziert.

#### 4.8 Bodeneigenschaften verbessern

Wie oben beschrieben, sind Böschungsstandorte häufig durch extreme Standorteigenschaften charakterisiert. Dies gilt vor allem für ton- und schluffarme Rohböden. die biologisch weitgehend inaktiv sind und nur eine geringe Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit aufweisen. Manche - vor allem technogene - Böden weisen zusätzlich stark saure (z. B. Bergematerial, tertiärer Abraum des Braunkohlentagebaus) oder stark alkalische (z. B. Schlakken, Flugaschen, z. T. Bauschutt), für Pflanzenwuchs abträgliche Bedingungen auf. Solche sehr trockenen und nährstoffarmen Extremflächen sind besonders erosionsgefährdet, weil sie ohne geeignete chemische und/oder physikalische Bodenverbesserungsmaßnahmen keine ausreichend schützende Vegetationsbedeckung erlauben. Zu den wichtigsten Maßnahmen zählen:

- pH-Wert: Stark saure Böden (pH < 5) aufkalken, sehr stark alkalische Böden (pH > 9) mit physiologisch sauren Düngern und speziellen säureliefernden Substraten behandeln.
- Nährstoffspeicherfähigkeit: Tonanteile erhöhen (Bentonitzufuhr), Bildung von Ton-Humus-Komplexen und Bodenle-

- ben durch Zugabe organischer Humusbildner (z. B. Alginate) oder organischer Substrate fördern und aktvieren (siehe Abschnitt 4.9). Diese Maßnahmen dienen zugleich einer Optimierung der
- Wasserspeicherfähigkeit. Eine Strohmulchschicht gemäß DIN 18918 oder Erosionsschutzmatten verbessern die Wasseraufnahme des Bodens zusätzlich und reduzieren die Verdunstung. Sämtliche Maßnahmen fördern nicht nur das Pflanzenwachstum, sondern haben schon alleine durch Gefüge- und Komplexbildung, Verkittung und Bodenabdeckung eine erosionsmindernde Wirkung (Bloemer & Diekhoff 2013).

Diese Bodenverbesserungsmittel werden gewöhnlich gleichfalls per Nassansaat aufgebracht.

### 4.9 Die Humusbildung und das Bodenleben fördern

Ein aktives Bodenleben (Edaphon) schützt den Boden physikochemisch vor Erosion durch die Bildung verklebend wirkender organomineralischer Komplexe, die am Aufbau größerer und den Boden stabilisierender Aggregate beteiligt sind; hierdurch wird gleichzeitig die Porigkeit und damit die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens





Bild 15: Grenze von rein mineralischer (rechts) und organischer Düngung (links) auf einem nährstoffarmen Rohboden. Die organische Düngung führt zu einem dichteren und vitaleren Bestand, der einen wesentlich besseren Schutz vor Erosion gewährleistet

optimiert. In sandigen Böden können schon geringe Anteile organischer Stoffe den Scherwiderstand erhöhen (Scheffer & Schachtschabel 1998, Blume 1990). Regenwürmer schaffen zudem Vertikalporen und erhöhen die Wasserinfiltration mit der Folge, dass erosiv wirksamer Oberflächenabfluss reduziert wird. Der Kot von Regenwürmern ist sehr stabil und damit sehr resistent gegenüber Verschlämmung.

Die Intensität des Bodenlebens korreliert mit dem Humusgehalt und der Humusqualität. Humus besitzt eine hohe Wasserspeicherfähigkeit und verringert daher den erosiv wirksamen Oberflächenabfluss.

Humusbildung und Bodenleben werden durch die Zugabe organischer Substanzen (z. B. Mulch, organische Düngemittel), durch Bodenverbesserungsmittel (z. B. Alginate, Bodenaktivatoren) und die Beimischung von die Humusqualität fördernden Pflanzen in der Ansaat (z. B. Leguminosen) gezielt unterstützt. In sauren Böden können die Lebensbedingungen für das Edaphon durch eine Erhöhung des pH-Wertes (Kalkung) verbessert werden.

#### 5 Pflege

Die Ausbildung einer dichten und vor Erosion schützenden Grasnarbe wird durch eine fachgerechte Pflege begünstigt. Hierzu zählt vor allem die regelmäßige, meist ein- bis zweimalige jährliche Mahd aller rasen- und wiesenartigen Vegetationsbestände zur Förderung der wiesentypischen Arten. Das regelmäßige Mähen verhindert den Aufwuchs von nicht wiesentypischer Vegetation, die durch Konkurrenzmechanismen (u. a. Beschattung) zur Verdrängung der narbenbildenden und bodenfestigenden Arten führt. Sollen artenreiche und magerkeitsliebende Bestände etabliert werden, muss das Mähgut entfernt wer-

den. Im ersten Jahr kann zwecks Schonung noch aufkommender Keimlinge und Jungpflanzen auf das Abräumen des Schnittguts verzichtet werden. Fahrspuren und weitere Beschädigungen von Grasnarbe und Böschungen durch Mähmaschinen sind zwecks Vermeidung von Erosion selbstverständlich zu vermeiden; Pflegearbeiten sollten daher nur bei trockenen Bodenverhältnissen durchgeführt werden.

Eine Nachdüngung fachgerecht angesäter Böschungen ist gewöhnlich nicht erforderlich; lediglich auf besonders mageren Extremstandorten kann eine angemessene Nachdüngung zur Erhöhung der Bestandsdichte führen. Hierbei sollten ausschließlich organische Dünger eingesetzt werden; überhöhte Düngergaben sind kontraproduktiv und daher zu vermeiden.

Bewässerungen von Böschungsansaaten sind grundsätzlich weder sinnvoll noch erforderlich und bisweilen sogar kontraproduktiv. Auf bindigen oder verdichteten Böschungen führen Bewässerungen häufig zu erosionsförderndem Oberflächenabfluss. Entscheidender aber ist, dass Bewässerungen einen feuchteren Standort vortäuschen und damit die Vegetation, die sich an einen trockenen Böschungsstandort anpassen soll, hinsichtlich des Wurzelwachstums und des Artenspektrums beeinflussen können. Beides kann die Erosionsfestigkeit der Grasnarbe beeinträchtigen.

#### Literaturverzeichnis

Amberger, A. (1996): Pflanzenernährung. 4. Aufl., Ulmer, Stuttgart.

Barsch, F. (2013): Rechtsgrundlage Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). FLL-Fachtagung "Gebietseigenes Saatgut", 25.11.2013, Zusammenfassung der Vorträge. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim. Begemann, W.; Schiechtl, H. M. (1986): Ingenieurbiologie, Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. Bauverlag 2. Aufl., Wiesbaden und 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, 393-406.

Bloemer, S. (2002): Oberbodenandeckungen auf Böschungen: Immer problematisch. GaLa-Bau 11+12/2002, 48–50.

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

Bloemer, S. (2003b): Zum Problem korrekturbedürftiger Ausschreibungstexte am Beispiel ingenieurbiologischer Sicherungen und Begrünungen durch Nassansaaten nach DIN 18918. Neue Landschaft 1, S. 45–52

Bloemer, S. (2012): Geotextilien zum Erosionsschutz und zur Böschungssicherung – eine ver-

gleichende Analyse. Straße und Autobahn 6, 362–370

Bloemer, S.; Diekhoff, S. (2013): Optimierung und Beschleunigung von Keimung und Vegetationsentwicklung bei Böschungsansaaten im Verkehrswegebau. Straße und Autobahn 6, 409–420. Blume, H. P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg/Lech.

Boksch, M. (2001): Keimung – Start für neuen Rasen. Rasenthema April 2001, Deutsche Rasengesellschaft e. V., (http://www.rasengesellschaft. de/content/rasenthema/2001/04.php)

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (2013): DIN-Taschenbuch 81 – Landschaftsbauarbeiten. VOB/STLB-Bau, Beuth-Verlag, Berlin-Wien-Zürich, 15. Auflage.

Ellenberg, H. et al. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta geobotanica Volume 18, Erich Goltze KG, Göttingen.

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

Florineth, F. (2004): Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Patzer-Verlag, Berlin, Hannover.

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

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Aufl., Enke, Stuttgart.

Skirde, W. (1978): Vegetationstechnik, Rasen und Begrünungen. Schriftenreihe Landschaftsund Sportplatzbau 1, Patzer Verlag, Berlin, Hannover.

SKZ-KFE gGmbH & Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2011): Erarbeitung und Verifizierung von Auswahlkriterien für geosynthetische Erosionsschutzsysteme. Schlussbericht der Forschungsstellen SKZ-KFE gGMBH 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 Vorhabens 15717 N,

Stalljann, E. (1999): Frisol, ein erfolgreiches Begrünungsverfahren für Bergbauflächen. Vortrag im Rahmen des internationalen Kongresses "Bergbau und Umweltschutz", Lima, 12.7.–16.7.1999.

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

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

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

Werpup, A. (2013): Biotoptypenbasierte Gehölzansaaten – Eine Begrünungsmethode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen. Umwelt und Raum 6, Schriftenreihe Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover.

Zeh, H. (2007): Ingenieurbiologie – Handbuch Bautypen, vdf Hochschulverlag AG, Zürich.