

Ingenieurbiologie und Klimawandel – worauf sich Planer und Unternehmen einstellen müssen

STEPHAN BLOEMER

Der Klimawandel verschärft die Erosionsgefahr an Böschungen, Hängen und Gewässerufern. Mit naturnahen Mitteln kann die Ingenieurbiologie ihr auch weiterhin flexibel begegnen. Allerdings bedarf es dazu einer sorgfältigen und standortgerechten Auswahl von Saatgut und Komponenten. Rohbodenbegrünungen sollten gegenüber Oberbodenaufträgen bevorzugt werden, Hanglängen nach Möglichkeit verkürzt werden.

1. Ingenieurbiologie und Klima

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.“ [1] Einsatzgebiete der Ingenieurbiologie sind die Hang- und Ufersicherung sowie der Erosionsschutz. Einhundertsiebzig beschriebene Bauweisen schützen vor Erosion durch Wasser und Wind, vor Hangrutschungen und Steinerschlag sowie vor Schäden im Wasserbau und im Küstenschutz [2]. Daneben spielen ökologische und ästhetische Aspekte eine wichtige Rolle.

Sämtliche Erosionserscheinungen sind eine unmittelbare Folge klimatischer bzw. atmosphärischer Einflüsse wie Niederschlag und Luftbewegung. Es versteht sich von selbst, dass klimatische Änderungen zwangsläufig auch die Grundlagen für ingenieurbiologische Sicherungen beeinflussen. Je drastischer sich die Folgen menschlichen Verhaltens auf das Klima auswirken, desto stärker sind Ingenieurbologen in Planung und Praxis herausgefordert, ihre Arbeit an die veränderten Bedingungen anzupassen.

Da die hydraulische Nassansaat flächenmäßig die mit Abstand am meisten verbreitete ingenieurbiologische Maßnahme ist, zollt dieser der vorliegende Beitrag die größte Aufmerksamkeit. Daneben wird auf weitere, häufig angewendete ingenieurbiologische Bauweisen eingegangen.

2. Aktuelle und prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland

Klimatologen sind sich weitgehend einig, dass die steigende Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) durch den Verbrauch fossiler Energieträger, Waldrodungen, das Trockenlegen von Feuchtgebieten und Brennholznutzung den größten Anteil an der zu erwartenden Klimaveränderung hat. Seit Beginn der Industrialisierung ist die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 280 ppmv auf derzeit mehr als 370 ppmv angestiegen und nimmt um jährlich weitere 0,4% zu [3, 4]. Daneben spielen weitere klimarelevante Gase wie Fluor, Methan, Ozon und Lachgas eine Rolle. Bereits im 20. Jahrhundert betrug der Temperaturanstieg in Deutschland 0,9° C; die Winterniederschläge haben besonders im Westen und Süden Deutschlands deutlich zugenommen, die Sommerniederschläge insbesondere im Osten Deutsch-

lands leicht abgenommen. Die zwölf wärmsten Jahre ab 1856 sind sämtlich seit 1983 aufgetreten! Ein Temperaturanstieg von 1,4 – 5,8°C (bodennah) im globalen Mittel ist durchaus realistisch [4]. Die klimatischen Veränderungen sind für Begrünungsunternehmen bereits seit geraumer Zeit deutlich wahrnehmbar. Während Herbst- und Winteransaat früher eher die Ausnahme waren, sind sie aufgrund der verbreitet milden Temperaturen inzwischen Routine. Die Tendenz zu trockenen Sommern schränkt das Zeitfenster für Begrünungen während der Vegetationsperiode hingegen immer mehr ein, und die verstärkte Neigung zu extremen Niederschlägen ist anhand zunehmender Erosionsschäden schon jetzt spürbar.

Prognosen des Umweltbundesamtes und des Max-Planck-Instituts für Meteorologie errechnen – je nach Szenario – bis 2100 besonders für Nord- und Süddeutschland hohe Temperaturzunahmen bis zu 4°C (Abb. 1). Hinsichtlich der zu erwartenden Änderungen der Niederschlagsverteilung ergibt sich bei einem Szenario mit mittlerem Erwärmungsniveau ein Sommerdefizit von 10–30% in weiten Teilen des Landes und bis zu 50% im Nordosten und in Teilen Süddeutschlands, während im Winter 10–30%, im Westen bis zu 50% mehr Niederschläge fallen dürften (Abb. 2 und 3)[5, 6]. Darüber hinaus wird die Niederschlagsvariabilität zunehmen, es ist also vermehrt mit Starkniederschlägen zu rechnen. Die prognostizierten Änderungen sind also durchaus erheblich.

Mittels statistischer Methoden und Szenarioberechnungen können die Prognosemodelle inzwischen mit einer relativ hohen naturräumlichen Differenzierung dargestellt werden [6].

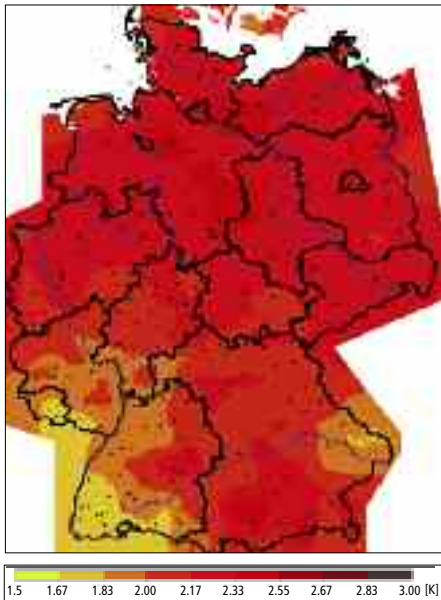


Abb. 1: Szenario A2 (mittleres Erwärmungsniveau)
Prognostizierte Tagesmitteltemperatur für das gesamte Jahr. Differenz zwischen dem Szenario A2, Zeitraum 2071–2100, und dem Kontrolllauf 1961–1990 [aus: Spekat, A., Enke, W. & Kreienkamp, F. (2007)].



Abb. 2: Szenario A2 (mittleres Erwärmungsniveau)
Kartendarstellung des Niederschlags. Jahreszeit: Sommer. Prozentuale Veränderung zwischen dem Szenario A2, Zeitraum 2071–2100, und dem Kontrolllauf 1961–1990. Rot: Abnahme des Niederschlags zum Ende des 21. Jahrhunderts. Blau: Zunahme des Niederschlags zum Ende des 21. Jahrhunderts [aus: Spekat, A., Enke, W. & Kreienkamp, F. (2007)].

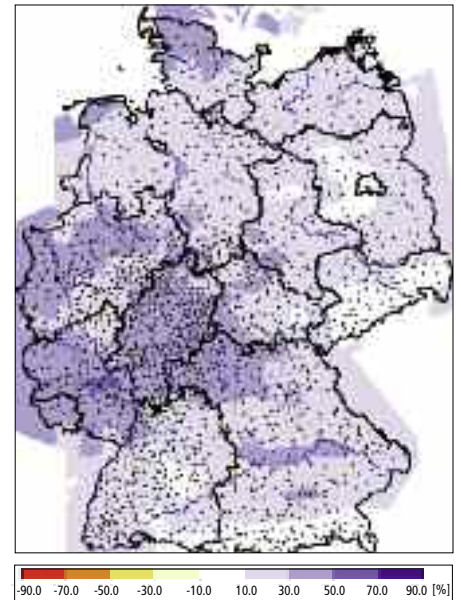


Abb. 3: Szenario A2 (mittleres Erwärmungsniveau)
Wie in Abb. 2, jedoch für den Winter [aus: Spekat, A., Enke, W. & Kreienkamp, F. (2007)].

3. Boden- und standortkundliche Auswirkungen der Klimaveränderung

3.1 Auswirkungen durch die Erwärmung

Verschiedenen Szenarien zufolge werden in Mitteleuropa wärmere Sommer und mildere Winter erwartet. Vor allem während der Vegetationsperiode ist aufgrund der Temperaturzunahme mit erhöhter Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) zu rechnen; gleichzeitig verschärfen zurückgehende Niederschläge die Situation zusätzlich. Damit hat die Vegetation verstärkt unter Dürrestress zu leiden. Die Existenzbedingungen für Kälte- und Frostkeimer werden erschwert, es ist mit einer Verschiebung des Artenspektrums hin zu Wärme liebenden Arten zu rechnen. In den Höhenlagen der Alpen werden sich die Vegetationszonen und die Schneegrenze um mehrere hundert Meter vertikal verschieben [3]. Alpine bzw. nordische Pflanzenarten und Glazialrelikte (aus der Eiszeit stammende Arten) sind daher besonders in ihrem Bestand gefährdet. Im Gegenzug werden sich submediterrane, mediterrane und subtropische Neophyten (neu eingewanderte oder eingeführte Spezies) und C4-Pflanzen (trockenheits- und wärmeliebende Spezies), also bislang gebietsfremde Arten, verstärkt ausbreiten. So ist der Anteil neophytischer Arten am Ufer des Mittel- und Unterrheins

seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts drastisch angestiegen und übertrifft stellenweise die Zahl heimischer Arten. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Neophyten durch zunehmende Temperaturen begünstigt werden [7, 8]. Daher ist ein grundlegender Wandel der mitteleuropäischen Pflanzengesellschaften und Biozöosen zu befürchten.

Die Erwärmung wird einen Anstieg der Aktivität von Bodenmikroorganismen und dadurch verursacht eine vorübergehend erhöhte Mineralisierung und einen verstärkten Streu- und Humusabbau und somit eine Änderung der Nährstoffdynamik zur Folge haben [3]. Die freigesetzten Nährstoffe verursachen möglicherweise einen vorübergehenden Anstieg der Wachstumsraten der Vegetation [9, 10]. Der temperaturbedingte Humusverlust wird die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen, die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität reduzieren und zu einer erhöhten Erosionsanfälligkeit führen [3]. Verwitterungsprozesse werden sich beschleunigen und eine erhöhte Stofffreisetzung zur Folge haben. Verminderte Frosttiefe und Frostgare werden die bodenphysikalischen Parameter beeinflussen. Es wird dementsprechend zu einer Standortveränderung kommen.

Weiterhin werden sich – auch neue – Pflanzenkrankheiten und Schädlinge aus-



Abb. 4: Abrutschende Oberbodenandekungen nach starken Regenfällen werden künftig voraussichtlich immer häufiger auftreten. Ingenieurbio-logische Bauweisen wie Faschinen oder Rohbodenbegrünungen unter Verzicht auf die Andeckung von Oberboden tragen dazu bei, solche Schäden zu vermeiden.

Fotos: Bender GmbH

breiten, die bisher nur in wärmeren, südlicheren Breiten vorkommen [3].

3.2 Auswirkungen durch die Veränderung der Niederschlagsdynamik

Für Mitteleuropa werden insgesamt trockenere und wärmere Sommer sowie feuchtere und mildere Winter prognostiziert. Schon jetzt sind Tendenzen hinsichtlich der Niederschlagsdynamik erkennbar. So kann ein deutlicher Anstieg der Niederschlagsmenge im Winter und eine leichte Abnahme im Sommer beobachtet werden [4]. Im Os-

ten Deutschlands ist die Abnahme der Sommerniederschläge besonders deutlich konstatierbar, während im Westen und Süden verstärkt und häufiger winterliche Hochwasserereignisse auftreten. Die Folgen sind zunehmende Dürrefahr im Sommer, erhöhte Erosionsprobleme durch Niederschläge (Winter) und Wind (Sommer), eine intensivere Veränderung und Zerstörung der Uferbereiche und Deiche von Fließgewässern sowie eine verstärkte Nährstoffauswaschung im Winter.

Weiterhin ist eine Tendenz zu erhöhter Niederschlagsvariabilität, d. h. vermehrtem Auftreten von starken und extremen Niederschlägen, erkennbar. Hier droht verstärkt Erosion, Bodenverschlammung sowie die Entwurzelung bzw. Beschädigung von Keimlingen und Jungpflanzen [3].

4. Konsequenzen klimatischer Veränderungen für ingenieurbio-logische Sicherungen in Planung und Praxis

Prävention geht vor Schadensbehebung. Durch vorausschauende Planung und umsichtiges Baustellenmanagement lassen sich bereits im Vorfeld durch ausschreibende Stellen und Bauunternehmen Maßnahmen zur Standortoptimierung durchführen, welche die spätere Begrünung deutlich erleichtern können. Auch die Nassansaat selbst kann durch sorgfältige und standortgerechte Auswahl von Saatgut und Komponenten die Folgen klimatischer Auswirkungen auf das Begrünungsergebnis zumindest abpuffern und teilweise kompensieren. Hier sind Planer und Begrünungsunternehmen gleichermaßen gefordert! Mit Hilfe umsichtig geplanter und umgesetzter ingenieurbio-logischer Bauweisen schließlich kann der bereits jetzt verschärften Erosionsgefahr an Böschungen, Hängen und Gewässeruferrn mit naturnahen Mitteln flexibel begegnet werden. Der nachfolgende Text wird durch eine tabellarische Übersicht (Tab. 1) veranschaulicht. In dieser Übersicht werden die veränderten klimatischen Bedingungen und die daraus abzuleitenden standortkundlichen Veränderungen mit dem jeweils erforderlichen Handlungsbedarf für die bauseitige Bodenvorbereitung, für Nassansaat und für ingenieurbio-logische Bauweisen dargestellt.

Bauseitige Standortvorbereitung

Vor dem Hintergrund zunehmender Erwärmung und veränderter Niederschlagsverhältnisse ist das Thema der bauseitigen Standort- und Bodenvorbereitung von

wachsender Bedeutung, weil eine fach- und DIN-gerechte Bodenbehandlung im Zuge des Erd- und Tiefbaus den Erfolg einer Begrünung eindeutig beeinflusst. Besonders abnehmende Niederschläge im Sommer bei gleichzeitig erhöhter Tendenz zu Starkregenereignissen sowie zunehmende Winter-niederschläge und vermehrte Frost-Tauwechsel erfordern eine sorgfältiger geplante und durchgeführte Standortvorbereitung als bisher. Als entscheidend gelten die folgenden Punkte:

– Andeckung von Oberboden

Die mehrheitlich praktizierte Andeckung von Böschungen mit Oberboden birgt zahlreiche Nachteile in standort- und vegetationskundlicher, erosionsschutztechnischer, ästhetischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Diese Nachteile sind in der Fachliteratur hinlänglich beschrieben und können durch Rohbodenbegrünungen umgangen werden [11, 12, 13]. Abnehmende Sommer- und zunehmende Winterniederschläge sowie vermehrte Starkregen werden die Diskussion um den Sinn der besonders austrocknungs- und erosionsgefährdeten Oberbodenaufträge neu entfachen (Abb. 4). Es muss künftig sowohl vom Planer als auch vom ausführenden Bauunternehmen kritischer und sorgfältiger als bisher geprüft werden, ob anfallende Oberbodenmassen nicht anderweitige Verwendung finden können; andernfalls ist mit wachsenden Baukosten durch den verstärkten Einsatz aufwändiger Oberbodensicherungen (meist durch Faschinen) und durch intensivere Maßnahmen zur Schadensbeseitigung zu rechnen.

– Hanglänge und Hangneigung

Die Erosionsgefahr steigt mit zunehmender Hanglänge und Hangneigung. Wo bautechnische Erfordernisse, räumliche Verhältnisse und baustellenspezifische Rahmenbedingungen eine Verkürzung der Hanglänge, z. B. durch Terrassierung, und eine flachere Gestaltung der Böschungen zulassen, sollten diese Optionen zur Minimierung oder Vermeidung späterer Erosionsschäden genutzt werden. Im Hinblick auf zunehmende Niederschläge im Winter und eine steigende Tendenz zu starken und extremen Niederschlagsereignissen mit erheblichem erosiven Zerstörungspotenzial sollte jede bauseitige Möglichkeit zur präventiven Schadensbegrenzung genutzt werden. In dieser Hinsicht sind die steilen, jedoch üblichen Böschungen im Verkehrswegebau mit einer Neigung von 1:1,5 (33°) nicht besonders zweckdienlich.

– Maschinelle Boden- und Böschungsbe-arbeitung

Die durch den Klimawandel entstehende Herausforderung lautet: Erosion durch intensivere Niederschläge vermeiden und

die Wasseraufnahme- und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens erhöhen, damit die Vegetation auch in zunehmend dürrefährdeten Sommern ihre Funktion erfüllen kann. Die Herstellung und Vorbereitung zu begrünender Böschungen wird sich künftig deutlich stärker an diesen Erfordernissen orientieren müssen. Glatt abgezogene und verdichtete Böden mit zerstörtem Bodengefüge müssen lockeren, hangparallel strukturierten und mikrorelieffreien Oberflächen weichen, um die Infiltration und Speicherung von Niederschlagswasser zu optimieren. Als Vorbild dient das so genannte Contour ploughing mit hangparalleler Pfluglockerung. Transport und Einbau bindiger Böden sollten möglichst im festen oder halbfesten Zustand (geringer Wassergehalt) erfolgen, um geringe Verdichtungseffekte und ein maximales Porenvolumen zu erzielen. Ausschreibende Stellen sollten in den entsprechenden Vorbemerkungen und Positionen zur Bodenvorbereitung und zum Bodenauftrag ausdrücklich auf die DIN 18915 hinweisen. Kapitel 5 und 6 der DIN 18915 gehen detailliert auf Anforderungen für Böden und Herstellung von Vegetationsflächen ein. Hier sind besonders die jeweiligen Unterkapitel „Lockerung“ zu beachten [14].

Begrünungen durch Nassansaat nach DIN 18918

Flächenmäßig ist die hydraulische Nassansaat (Anspritzebegrünung, Hydroseeding) nach DIN 18918 die mit Abstand am stärksten verbreitete ingenieurbio-logische Sicherungsmaßnahme. Diese besonders zuverlässige und rationelle Begrünungstechnik wird im Erd- und Verkehrswegebau, im Berg-, Wasser-, Deich-, Landschafts- und Deponiebau sowie bei Naturschutzprojekten großflächig auf jährlich vielen Tausend Hektar Böschungs- und ebenen Flächen eingesetzt und muss daher vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen besonders intensiv betrachtet werden.

Den durch klimatische Veränderungen hervorgerufenen Standortbeeinträchtigungen können mit verschiedenen Strategien von der Wahl des Saatzeitpunktes, der Art und Qualität des Saatgutes über die Art und Menge der einzusetzenden Zuschlagstoffe bis hin zu Pflegeaspekten entgegengewirkt werden (Tab. 1). Es kann in diesem Zusammenhang selbstverständlich nicht um eine vollständige Kompensation der standörtlichen Veränderungen gehen, sondern um das Aufzeigen von Wegen zu einer flexiblen Reaktion seitens der Planer und Begrünungsunternehmen und zu einer Abmilderung der zu erwartenden und teilweise bereits eingetretenen Probleme



Abb. 5: Typisches Ergebnis einer Ansaat mit Regelsaatgut (sog. Einheitsgrün). Solche blüten- und artenarmen Bestände sind weniger tolerant gegenüber Trockenperioden und bieten keinen optimalen Erosionsschutz.

für die Vegetationsetablierung und den Erosionsschutz unter veränderten Vorzeichen.

– Ansaatzeitpunkt

Schon durch einfache (und kostenneutrale) Maßnahmen wie die Optimierung des Ansaatzeitpunktes kann der Begrünungserfolg verbessert werden: Herbstansaat führen zu einer geringeren Ausfallrate durch Dürrestress in der nachfolgenden Vegetationsperiode als Ansaaten im Frühjahr und Frühlingsommer. Die zunehmenden Temperaturen erlauben schon heute das Auflaufen und die Entwicklung der Saat zwischen Mitte Oktober und März, was sich bereits deutlich in immer voller werdenden Terminplanern der Begrünungsunternehmen im Spätherbst und in den Wintermonaten niederschlägt.

– Wahl von geeignetem Saatgut

Steigende Stressfaktoren erfordern – und hier liegt der Schlüssel für standortgerechte Begrünungen im Zeichen des Klimawandels – den Einsatz standortheimischer Arten und Pflanzengesellschaften mit hohem Kräuteranteil. „... Regelsaatgutmischungen sind und werden zunehmend problematisch, da gebietsfremde Genotypen enthalten sind...“ [15]. Regelsaatgut führt fast immer zu uniformen, struktur- und blütenarmen Beständen (Abb. 5). Die funktional, erosionsschutztechnisch, ästhetisch und ökologisch nachhaltigsten Begrünungserfolge werden bereits seit geraumer Zeit mit arten- und kräuterreichem Regio-Saatgut sowie mit Saatgut aus dem Heudrusch®-Verfahren und mit dem Heumulchverfahren erzielt [16, 17, 18, 19, 20].

Pflanzen regionaler Herkünfte sind züchterisch unbeeinflusst und erweisen sich widerstandsfähiger gegenüber limitierenden Stressfaktoren wie z. B. Trockenheit und einem begrenzten Nährstoffangebot (Abb. 6). Tabelle 1 verdeutlicht, dass mit solcherart geeignetem Saatgut gleich auf mehrere beeinträchtigende Standortveränderungen reagiert werden kann. Artenreiche Pflanzengesellschaften bilden zudem ein differenzierteres Wurzelwerk aus, was sich in verschiedenen Untersuchungen als positiv für die Erosionsfestigkeit herausgestellt hat [17, 20]. Planende und ausschreibende Stellen sind aufgefordert, diesen gesicherten Erkenntnissen in erheblich größerem Umfang als bislang Rechnung zu tragen.

– Funktionelles Zusatzsaatgut

Zunehmende Erosionsgefahr und der verstärkte Einsatz von Herbst- und Winteransaat mit langen Auflauffristen erfordern mehr als bisher den gezielten Einsatz von schnell keimenden Ammengräsern und Deckfruchtsaaten. Auch zur Eingrenzung und Verdrängung von Neophyten können Ammengräser und Deckfrüchte einen Beitrag leisten. Nicht zuletzt sei bemerkt, dass Keimlinge und Jungpflanzen von Rasengräsern und Kräutern auf mit Ammengräsern bewachsenen Ansaatflächen aufgrund deren Schutzwirkung nach Starkniederschlägen geringere Schäden aufweisen, und dass die Bodenoberfläche in geringerem Ausmaß von Aggregatzerstörung und Verschlammung betroffen ist. Gegen die Beeinträchtigung und Zerstörung des Gefüges und die Verschlammung empfindlicher, v. a. schluffreicher Böden kann zudem auf typische Tiefwurzler als Deckfrucht, wie z. B. Luzerne, zurückgegriffen werden.

– Bodenverbessernde Komponenten

Im Zuge der Verstärkung verschiedener Stressfaktoren durch den Klimawandel ist

bereits jetzt erkennbar, dass Bodenverbesserungsmittel mit multifunktionaler Wirkung künftig verstärkt eingesetzt werden, um vorwiegend auf kritischen Standorten wie Rohböden und stark geneigten Flächen einen Begrünungserfolg zu erzielen. Vor allem Tonminerale (Bentonit) und Alginat wirken an mehreren Fronten: Sie erhöhen die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität, wirken der absehbaren Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit und der Nährstoffauswaschung entgegen, verbessern das Bodengefüge und verringern den Bodenabtrag. Begrünungen, die mit diesen Kompo-



Abb. 6: Artenreiche Begrünungen aus Saatgut regionaler Herkünfte sind robust und widerstandsfähiger gegenüber klimatischen Stressfaktoren und haben einen hohen erosionsschutztechnischen Wert.

nenten durchgeführt werden, zeitigen meist ein deutlich besseres Ergebnis hinsichtlich Auflauffrist, Deckungsgrad, Vitalität und Durchwurzelung. Auch das Wurzelwachstum anregende Mittel (z. B. Zuckerpflanzphosphoramide) können einen Beitrag zu einer besseren Wasserversorgung der Vegetation durch die Anregung des Wurzellängenwachstums leisten. In besonders kritischen Fällen können auch chemische Produkte wie quellfähige Polymere zur Verbesserung des Wasserhaushaltes eingesetzt werden.

– Kleber

In Zukunft noch wichtiger als bisher ist ein hochwertiger und über mehrere Monate wirksamer Bodenkleber. Ein paar Gramm Zellulose als Kleber waren noch nie besonders wirksam und werden es in Zukunft schon gar nicht sein. Zunehmende Erosionsgefahr durch verstärkte Niederschläge im Winter und eine erhöhte Neigung zu Starkregen machen bei jedem Produkt die vom Hersteller angegebene Mindestaufwandmenge erforderlich, am besten in Kombination mit mindestens 60 g Zellulosefasern (Trockensubstanz!) je m² nach DIN 18918.

Veränderter Witterungseinfluss durch Klimawandel	Dadurch bedingte Boden- und Standortveränderungen	Konsequenzen für bauseitige Standort- bzw. Bodenvorbereitung	Konsequenzen für ingenieurbioologische Ansaaten (Nassansaat)	Konsequenzen für ingenieurbioologische Bauweisen
1. Temperaturzunahme	Erhöhte Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) → Zunahme des Dürrestresses	Verbesserung der Infiltration: Unverdichtete, raue Oberfläche mit hangparallele Strukturen herstellen („contour-ploughing“); Bodeneinbau und -bearbeitung nicht bei zu hohen Wassergehalten (fester oder halbfester Zustand); Rohboden statt Oberbodenauftrag	Ansaattermin optimieren (Herbstansaat); Erhöhung der Mulchmengen; Langstrohmulch; Einsatz Wasser speichernder Bodenverbesserungsmittel (z. B. Tonminerale, Alginat, quellfähige Polymere etc.); Saatgut Wärme liebender Arten und für Trockenlagen einsetzen; größeres Artenspektrum (Kräuter); Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen; Bewässerung	Einbauzeitpunkt optimieren (Herbst); Lebendverbau: trockenheitstolerantere und Wärme liebende Arten verwenden; Einsatz Wasser speichernder Bodenverbesserungsmittel (z. B. Tonminerale, Alginat, quellfähige Polymere etc.) Bewässerung
	Verlängerung der Vegetationsperiode		früherer Beginn und späteres Ende der Ansaatsaison; regional sind Ansaaten ganzjährig möglich	Verkürzung der Einbausaison für Bauweisen mit lebenden Gehölzen, jedoch Ausgleich durch weniger Frost- und Eistage im Winter
	Gebirgslagen: Verschiebung der Vegetationszonen und der Schneegrenze, kürzere Schneebedeckung, stärkere Hochwasserereignisse	stärkere Beschränkung von Planierungen im subalpinen und alpinen Bereich; ökologischer Gewässerbau	Verschiebung des Einsatzes von Hochlagensaatgut; verstärkte Maßnahmen gegen Erosion (Deckfrucht-saat, Decksaat, Mulchsaat, Kleber, Alginat); Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen	verstärkter Einbau von Erosionsschuttmatten und -gewebe; verstärkter Einsatz von Hangfashinen, Pilotenwänden, Krainerwänden, Lagenbau etc.; verstärkter Schutz der Ufer von Fließgewässern (Senk- und Uferfashinen, Spreitlagen, Steckhölzer, Uferpfahl- und Uferkrainerwände, Raubäume, Packwerke etc.)
	Verstärkter Streu- und Humusabbau, Änderung der Nährstoffdynamik, Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, Reduzierung der Wasser- u. Nährstoffspeicherkapazität		Verstärkter Einsatz organischer Langzeitdünger und Humus bildender Stoffe; Erhöhung der Mulchmengen Langstrohmulch; Einsatz Wasser und Nährstoffe speichernder Bodenverbesserungsmittel (z. B. Tonminerale, Alginat, quellfähige Polymere etc.); Saatgut für Trockenlagen, Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen; Bewässerung	Hinsichtlich Wasser- und Nährstoffbedarf anspruchslosere Arten verwenden; Verstärkter Einsatz organischer Langzeitdünger und Humus bildender Stoffe; Einsatz Wasser und Nährstoffe speichernder Bodenverbesserungsmittel (z. B. Tonminerale, Alginat, quellfähige Polymere etc.); Bewässerung
	Verminderte Frostgare, Beeinträchtigung des Bodengefüges	Einbringen Gefüge verbessernder Stoffe (organische Substanz, Kalk, Gips, Mineralsalze, Eisenoxide, synthetische Stabilisatoren etc.); Bodenlockerung	Ansaat Gefüge verbessernder Pflanzen (z. B. tief wurzelnde Leguminosen); Einsatz Gefüge verbessernder Stoffe (Kalk, organische Dünger, Alginat, Mineralsalze); Mulchsaaten (Langstrohmulch)	Untersaat Gefüge verbessernder Pflanzen (z. B. tief wurzelnde Leguminosen); Einsatz Gefüge verbessernder Stoffe (Kalk, organische Dünger, Alginat, Mineralsalze)
	Verstärkter Konkurrenzdruck durch Neophyten	Aggressive Neophyten vorab mit Wurzeln entfernen [z. B. Japanknöterich (<i>Fallopia japonica</i>) und Sachalinknöterich (<i>F. sachaliensis</i>)]	Neophyten einbinden oder bekämpfen	Neophyten einbinden oder bekämpfen
2. Abnahme der Niederschlagsmengen im Sommer	Zunahme des Dürrestresses in der Vegetationsperiode	Siehe unter Punkt 1	Siehe unter Punkt 1	Siehe unter Punkt 1

Tab. 1: Konsequenzen des Klimawandels für Standortfaktoren, Bodenvorbereitung, hydraulische Nassansaat und ingenieurbioologischen Sicherungsbau im Überblick.

Veränderter Witterungseinfluss durch Klimawandel	Dadurch bedingte Boden- und Standortveränderungen	Konsequenzen für bauseitige Standort- bzw. Bodenvorbereitung	Konsequenzen für ingenieurbioologische Ansaaten (Nassansaaten)	Konsequenzen für ingenieurbioologische Bauweisen
3. Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen	Zunehmende Erosionsgefahr	Böschungslänge und Böschungsneigung minimieren; unverdichtete, raue Oberfläche und hangparallele Strukturen herstellen („contour-ploughing“); Verzicht auf Oberbodenandeckung;	Optimierung von Menge und Qualität des Klebers; Ammensaat und Tiefwurzler einsetzen; Wurzelwachstum anregende Mittel einsetzen (z. B. Zuckerphosphoramide); Mulchsaaten (Langstrohmulch); evt. Saatgutmenge erhöhen; Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen	Prävention und Schadensbehebung durch verstärkten Einsatz ingenieurbioologischer Bauweisen: Erosionsschutzmatten und -gewebe, Faschinen, Hecken-, Busch-, Spreitlagen, Krainerwände etc. in Verbindung mit Nassansaaten
	Erhöhte Nährstoffauswaschung	Unbewachsene Flächen abdecken; Zwischenansaaten	organische Langzeitdünger; Mineraldüngung reduzieren, Gabe begrenzen auf Frühjahr und Frühsommer; Verwendung Magerkeit liebender Arten; Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen; größeres Artenspektrum (Kräuter); Einsatz von Nährstoff speichernden Bodenverbesserungsmitteln (z. B. Tonminerale, Alginate); Mulchsaaten (Langstrohmulch); rasche Vegetationsbedeckung (Ammensaat)	organische Langzeitdünger; Mineraldüngung reduzieren, Gabe begrenzen auf Frühjahr; Einsatz von Nährstoff speichernden Bodenverbesserungsmitteln (z. B. Tonminerale, Alginate); rasche Vegetationsbedeckung (Zwischen-, Untersaat)
	Erhöhte Hochwassergefahr mit verstärkter Veränderung und Zerstörung von Uferbereichen und Deichen	Neigungswinkel und Länge der Uferböschungen minimieren; Bauzeit optimieren; ökologischer Gewässerbau	Förderung der Erosionsfestigkeit durch Ansaat artenreicher Wiesen; Regio-Saatgut, Heudrusch, Heumulch bevorzugen; Schnell wachsende und tief wurzelnde Ammensaaten; Wurzelwachstum anregende Mittel einsetzen (z. B. Zuckerphosphoramide); Ansaatzeitpunkt optimieren (Herbstansaaten)	<i>Ufer von Fließgewässern:</i> verstärkter Schutz und Schadensbehebung mit bepflanzten und unbepflanzten Systemen (Senk- und Uferfaschinen, Spreitlagen, Steckhölzer, Uferpfahl- und Uferkrainerwände, Röhrichtwalzen und -matten, Schilfmatten, Kokos- und Steinwalzen, Raubäume, Packwerke etc.); <i>Deiche:</i> verstärkter Einbau von Erosionsschutzmatten und -gewebe
4. Zunahme starker und extremer Niederschläge, meist lokal	Erhöhte Hochwassergefahr mit verstärkter Veränderung und Zerstörung von Uferbereichen und Deichen	Siehe unter Punkt 3	Siehe unter Punkt 3	Siehe unter Punkt 3
	Starke Erosionsgefahr	Siehe unter Punkt 3	Siehe unter Punkt 3	Siehe unter Punkt 3
	Zerstörung der Bodenaggregate, Bodenverschlammung	Verbesserung der Infiltration: unverdichtete, raue Oberfläche und hangparallele Strukturen herstellen („contour-ploughing“); Bodeneinbau und –bearbeitung nicht bei zu hohen Wassergehalten (fester oder halbfester Zustand); Verzicht auf Oberbodenandeckung; Einbringen Gefüge verbessernder Stoffe (organische Substanz, Kalk, Gips, Mineralsalze, Eisenoxide, synthetische Stabilisatoren etc.)	Ansaat Gefüge verbessernder Pflanzen (z. B. tief wurzelnde Leguminosen), Ammensaaten; Einsatz Gefüge verbessernder Stoffe (Kalk, organische Dünger, Alginate, Mineralsalze); Mulchsaaten (Langstrohmulch)	Erosionsschutzmatten in Kombination mit Nassansaaten
	Beschädigung von Keimlingen und Jungpflanzen	wie vor	Einsatz Gefüge verbessernder Stoffe (Kalk, organische Dünger, Alginate, Mineralsalze); Mulchsaaten (Langstrohmulch)	Erosionsschutzmatten

Tab. 1: Konsequenzen des Klimawandels für Standortfaktoren, Bodenvorbereitung, hydraulische Nassansaat und ingenieurbioologischen Sicherungsbau im Überblick.

– Mulch

Angemessene Mulchdecken unterstützen das Bemühen um eine Standortverbesserung vor dem Hintergrund des Klimawandels gleich mehrfach: Mulchlagen aus Stroh mildern durch ihren die Verdunstung reduzierenden Effekt die Auswirkungen von Trockenheit, erhöhen die Bodenfruchtbarkeit, verbessern das Bodengefüge, den Erosionsschutz und schützen Saat und Keimlinge gegen mechanische und witterungsbedingte Einflüsse wie z. B. Starkregen. Es sollte von planender und bauüberwachender Seite unbedingt darauf geachtet werden, dass die Vorgaben der DIN 18918 eingehalten werden. Die Mindestmenge von 300 g/m² Strohmulch muss eingehalten werden, wenn die Mulchdecke ihren Zweck erfüllen soll. Wesentlich effektiver als Kurzhäckselstroh ist naturgemäß Langstroh, das ersterem in allen Eigenschaften deutlich überlegen ist und daher fast immer zu besseren Begrünungsergebnissen führt [21, 22]. Planende Stellen sollten dies bei der Erstellung ihrer Ausschreibungen unbedingt berücksichtigen.

– Düngung

Um der klimabedingten Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit und der erhöhten Auswaschungsgefahr vor allem im Winterhalbjahr zu begegnen, ist der Einsatz organischer Langzeitdünger auf Kosten wasserlöslicher Mineraldünger von Bedeutung. Dies gilt in besonderem Maße für Ansaaten zwischen Oktober und März sowie für leichte, sorptionsschwache Böden mit geringem Humus- und Tonmineralgehalt. Auf allen übrigen Standorten sollten Mineraldünger, wenn überhaupt, nur mit Bedacht und gemäß DIN 18918 (maximal 50 g/m²) appliziert werden. Mit hochwertigen organischen Langzeitdüngern lässt sich nicht nur das Problem der Auswaschung minimieren; solche Nährstoffträger haben gleichzeitig eine phytosanitäre (die Pflanzengesundheit unterstützende) und bodenökologische Wirkung, so dass hier zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gemäß den Herstellerempfehlungen schadlos höhere Mengen als in der DIN 18918 vorgegeben eingesetzt werden können [23].

Die Vorgaben der DIN 18918 hinsichtlich Art und Menge der einzelnen Rezepturkomponenten sind auch unter dem Vorzeichen des Klimawandels ausreichend, sollten im Einzelfalle hinsichtlich Art und Menge der Komponenten jedoch kritisch geprüft werden. DIN-gerechte Ausschreibungen unter Beachtung der sich ändernden Standortbedingungen und entsprechende Kontrollen der ausführenden Unternehmen durch die Bauüberwachung vor Ort gewährleisten ein bestmögliches Begrünungsergebnis. Gerade planende Stel-

len sind aufgefordert, ihre Ausschreibungen vor diesem Hintergrund besonders sorgfältig und entsprechend dem jeweiligen Standort und den sich verändernden klimatischen Vorzeichen zu konzipieren. Fachliche Mängel in den Leistungstexten haben im Falle ihrer bedenkenlosen Umsetzung durch Begrünungsunternehmen schon heute – und in Zukunft noch gravierender – mangelhafte Begrünungsergebnisse zur Folge [24].

Pflegemaßnahmen

Neben dem Einsatz von böschungsschonendem Mähgerät, das die Grasnarbe nicht verletzt und so stärker werdenden Winter- und Starkregen keine Angriffspunkte für Erosion bietet, werden Flächenbewässerungen künftig einen stärkeren Beitrag in der Unterhaltung und Pflege leisten. Während dies innerhalb trockener Witterungsperioden für Gehölzpflanzungen uneingeschränkt gilt, können Ansaaten wiesenartiger Vegetation schon aus ökonomischen Gründen nicht umfassend und in ausreichenden Abständen bewässert werden. Speziell sensible Bereiche wie funktionelle Ansaaten auf Flughäfen, Deichen, Asche- und Spülfeldern, besonders erosionsgefährdeten Abschnitten etc. bedürfen in Zukunft sicher häufiger einer Bewässerung bis zum Narbenschluss als bisher.

Trockenere Sommer führen zwangsläufig zu einem verringerten Biomassezuwachs. Vor allem für die zweite Mahd im Spätsommer kann daher ein geringerer Arbeitsaufwand prognostiziert werden. Aufgrund dessen geht die Tendenz möglicherweise sogar generell in die Richtung einschüriger Pflegeschnitte, was zu einer weiteren Kostenentlastung in der Pflege führen wird.

Ingenieurbioologische Bauweisen

Ingenieurbioologische Bauweisen gewinnen mit dem Klimawandel immer stärker an Bedeutung. Höhere Winterniederschläge und die prognostizierte weitere Zunahme starker und extremer Niederschlagsereignisse werden die Gefahr und das Ausmaß von Erosionsschäden an Erd- und Landschaftsbauwerken, Aufschüttungen, Einschnitten und Böschungen aller Art drastisch erhöhen. Oberbodenandeckungen ohne Sicherung durch Faschinen oder gleichwertige Bauweisen, wie immer noch häufig zu sehen, werden ungleich risikoreicher (Abb. 4). Unbedingt zu empfehlen ist daher der Verzicht auf die Oberbodenandeckung zugunsten der Rohbodenbegrünung – nicht zuletzt auch in standort- und vegetationskundlicher, landschaftsästhetischer und wirtschaftlicher Hinsicht (siehe Abschnitt 4.1).

Für den Schutz frisch hergestellter Böschungen wird gleichfalls der Einsatz von Erosionsschuttmatten immer bedeutender. Vor allem in Verbindung mit Ansaaten bieten sie einen zuverlässigen Schutz gegen Erosion, bis die Vegetation diese Aufgabe übernimmt. Speziell bei Maßnahmen mit voraussichtlich längerem Zeitraum zwischen Ansaat und Narbenschluss (Herbst- und Winteransaaten, Ansaaten zu Beginn des Sommers) sollten Erosionsschuttmatten in keiner Ausschreibung fehlen, um lange Perioden mit ungeschützter Bodenoberfläche zu vermeiden. Vollflächig geschlossene bzw. engmaschige Geotextilien (Kokosmatten, Stroh/Kokosmatten, Strohmatte) sollten gegenüber grobmaschigen Geweben bevorzugt werden, da sie einen besseren Erosionsschutz bieten. Erosionsschuttmatten in Kombination mit Nassansaaten liefern bessere Ergebnisse als Matten mit eingearbeitetem Saatgut (Begrünungsmatten). Im Wasser- und Deichbau sollten vorwiegend schwere Kokosmatten (≥ 700 g/m²) mit ausreichender Verankerung verwendet werden.

Besonders steile, sensible und rutschungsgefährdete Böschungsabschnitte und Hänge (z. B. schluffige Böden wie Löß, bindig-tonige Gleitschichten und Böschungen mit Wasseraustritt) bedürfen in Zukunft stärker einer präventiven Sicherung, um aufwendige Schadensbehebungen zu vermeiden. Einen hervorragenden Schutz gegen schwere Erosionsschäden und Hangrutschungen bieten Lebendbauweisen mit größerer Tiefenwirkung wie beispielsweise Hangfaschinen, Lagenbau (Busch-, Hecken- und Spreitlagen) und Krainerwände [1, 2, 22]. Die nachträgliche Beseitigung von Erosionsschäden mit anschließender ingenieurbioologischer Reparatursicherung ist meistens wesentlich teurer und kostenintensiver, wird aber bei immer stärkerer Erosionsneigung nicht gänzlich vermeidbar sein.

Schließlich nimmt – vor dem Hintergrund erhöhter Hochwasserereignisse – die Bedeutung ingenieurbioologischer Ufersicherungen vor allem an Fließgewässern zu. Auch hier kann die Sicherung besonders gefährdeter Uferbereiche mit Steckhölzern, Senk- und Uferfaschinen, Uferkrainerwänden, Röhrichtwalzen und Röhrichtmatten, Schilfmatten etc. größeren Schäden vorbeugen und umfangreiche Schadensbeseitigungen nach Hochwasser ersparen [1, 2, 22].

Für alle ingenieurbioologischen Bauweisen gilt, dass das am besten geeignete System immer anhand der relevanten Klima- und Standortfaktoren und unter Begleitung eines beratenden Experten ausgewählt werden sollte.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die bereits messbaren, anthropogen induzierten Änderungen des globalen Klimasgeschehens sind auch in Deutschland augenfällig. Die zwölf wärmsten der letzten 150 Jahre sind sämtlich seit 1983 aufgetreten. Es wird insgesamt mit einem Temperaturanstieg von 1,4 – 5,8°C gerechnet. Die einhergehenden Folgen wie zunehmender Dürrestress in der Vegetationsperiode, ansteigende Niederschläge im Winterhalbjahr und eine wachsende Tendenz zu Extremniederschlägen werden umfangreiche, meist negative Änderungen der Begrünungsstandorte zeitigen. Die Vegetation wird mit zunehmendem Dürrestress und einer Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit, aber auch mit einer Verlängerung der Wachstumsperiode und einer Verschiebung der Höhenzonen konfrontiert. Der Konkurrenzdruck durch Neophyten wird schärfer. Gleichzeitig steigen die Erosionsgefahr und die Bedrohung durch Hochwasser vor allem im Winter, aber auch im Sommer. Bodenphysikalische und bodenchemische Prozesse werden gleichfalls zu einer Standortänderung führen.

Durch vorausschauende Maßnahmen und umsichtige Bodenvorbereitung kann ein Teil der Folgen des Klimawandels für Ansaaten und Erosionsschutz seitens des Erdbaus schon vor der Begrünung abgepuffert werden.

Hinsichtlich des einzusetzenden Saatgutes wird für Planer und Begrünungsunternehmen der Trend unvermeidbar in Richtung einer weitgehenden Umstellung von Regelsaatgut auf Begrünungsverfahren mit standortheimischen Arten und Pflanzengesellschaften wie Regio-Saatgut, Heudrusch- und Heumulchsaat gehen. Der Zusatz geeigneter Ammengräser und Deckfruchtarten wird zunehmend wichtiger.

Die abzusehenden Standortveränderungen mit Tendenz zu trockeneren Verhältnissen im Sommerhalbjahr und erhöhten Winterniederschlägen werden einen intensiveren Einsatz effektiver und Humusbildender Bodenverbesserungsmittel erfordern; gleiches gilt für Strohmulchdecken mit einer Mindestmenge nach DIN 18918, die künftig auch auf weniger extremen Standorten wie Oberböden eine immer größere Bedeutung erfahren werden. Langstroh ist Strohhäckseln unbedingt vorzuziehen. Der Verzicht auf Kleber oder dessen Einsparung sowie die Verwendung ineffektiver Präparate wird deutlich risikoreicher. Organische Naturdünger und Gefüge stabilisierende Maßnahmen gewinnen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit weiter an Bedeutung.

Die steigende Erosions- und Hochwassergefahr wird den verstärkten Einsatz ingenieurbioologischer Bauweisen sowohl präventiv als auch in der Sanierung erfordern. Erosionsschutzmatten werden vor allem in Verbindung mit Nassansaat an Wichtigkeit zunehmen. Auf Oberbodenandeckungen im Böschungsbereich sollten zugunsten von Rohbodenbegrünungen verzichtet werden; andernfalls sind Faschinen oder vergleichbare Bauweisen zur Sicherung unbedingt erforderlich.

Die an Begrünungs- und Erosionsschutzmaßnahmen beteiligten Institutionen sind aufgerufen, sich der bereits veränderten und der sich weiter verändernden Klima- und Standortsituation zu stellen. Eine vorausschauende, flexible und innovative Planung und Ausführung sowie eine fruchtbare Kommunikation zwischen planenden und ausführenden Stellen sind erforderlich, um den bevorstehenden Herausforderungen mit bestmöglichem Resultat zu begegnen.

LITERATUR

- [1] Schlüter, U. (1996): Pflanze als Baustoff – Ingenieurbioologie in Praxis und Umwelt. Berlin, Hannover, 319 S.
- [2] Zeh, H. (2007): Ingenieurbioologie – Handbuch Bautypen. 5 Sprachen; Zürich, 441 S.,
- [3] Gebhardt, H. (2000): Klimaveränderungen und Auswirkungen auf Ökosysteme.- KLIWA-Symposium vom 29./30.11.2000 in Karlsruhe. KLIWA-Bericht 1, S. 255-268
- [4] Schönwiese, C.-D. et al. (2003): Klimastatement der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG), der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie (ÖGM) und der Schweizerischen Gesellschaft für Meteorologie. Aktualisierte Fassung Sept. 2003
(www.dmg-ev.de/gesellschaft/aktivitaeten/pdf/klimastatement_2003.pdf)
- [5] Nakott, J. (2007): Wir haben gute Karten.- Klimawandel in Deutschland. Sonderbeilage von National Geographic Deutschland, September 2007, S. 10-13
- [6] 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 204 41 138
- [7] Schmitz, U. (2004): The potential effects of climate change on the growing season and degree of naturalization of alien *Amaranthus* species on banks of the river Rhine. In: Kühn, I. & Klotz, S. (Eds.) 2004: Biological Invasions: Challenges for Science. *Neobiota* 3: 135-145.
- [8] Schmitz, U. (2006): Increase of alien and C4 plant species in annual river bank vegetation of the River Rhine.- *Phytocoenologia* 36 (3), 393-402, Berlin, Stuttgart

- [9] Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde, Stuttgart, 494 S.
- [10] Peretzi, F. (2005): Ursachen der Klimaänderung und Auswirkungen auf die Agrarökologie.- Kolloquienreihe der Institute für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung sowie für Pflanzenschutz am 15.02.2005 in Freising, 9 S.
- [11] Bloemer, S. (2002): Oberbodenandeckungen auf Böschungen: Immer problematisch. – *GaLaBau* 11+12/2002, S. 48-50
- [12] Bloemer, S. (2003): Erosionsschutz und Begrünung von Böschungen im Verkehrswegebau: Optimierung durch Rohbodenbegrünung statt Oberbodenandeckung. – *Straßenverkehrstechnik* 2/2003, S. 90-95.
- [13] Kirmer, A. & Tischew, S. (Hrsg.) (2006): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. 195 S., Wiesbaden.
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) (2003): Landschaftsbauarbeiten VOB/StLB/STLK, DIN-Taschenbuch Nr. 81, 6. Auflage, 704 S.
- [15] Landeck, I. (2007): Versuche mit Initialbegrünungen auf extremen Standorten unter den bereits veränderten klimatischen Bedingungen.- Tagung der Gesellschaft für Ingenieurbioologie e.V. am 07.09.2007 in Großbräsen: Böschungssicherungen unter dem Aspekt des Klimawandels, Tagungs-band 5. 30-41
- [16] Bloemer, S., Egeling, S. & Schmitz, U.: Deichbegrünungsmethoden im Vergleich: Sodenverpflanzung, Heudrusch®-Verfahren und Handelsaatgut im Hinblick auf Biodiversität, Natur- und Erosionsschutz.- *Natur und Landschaft* 82 (2007), Heft 6, S. 276-283
- [17] Liebrand, C. (1999): Restoration of species-rich grasslands on reconstructed river dikes.- *Agricultural University, Wageningen*
- [18] Molder, F. (1995): Vergleichende Untersuchungen mit Verfahren der oberbodenlosen Begrünung unter besonderer Berücksichtigung areal- und standortbezogener Ökotypen.- *Boden und Landschaft* 5, Gießen
- [19] Engelhardt, J. (2001): Das Heudrusch®-Verfahren im ingenieurbioologischen Sicherungsbau.- *Neue Landschaft* 5/2001, S. 316-319
- [20] Husicka, A. (2003): Vegetation, Ökologie und Erosionsfestigkeit von Grasnarben auf Flussdeichen am Beispiel der Rheindeiche in Nordrhein-Westfalen. *Dissertationes Botanicae* 379, Cramer (Berlin – Stuttgart).
- [21] Begemann, W. & Schiechl, H. M. (1986): Ingenieurbioologie – Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. 203 S., Wiesbaden, Berlin.
- [22] Florineth, F. (2004): Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbioologie und Vegetationstechnik. 272 S., Berlin, Hannover
- [23] Stalljann, E. (1999): Frisol – a successful grassing system for mining areas. *International mining and environment challenge*, 12.-16. July 1999, Lima, Peru.
- [24] Bloemer, S (2003): Zum Problem korrekturbedürftiger Ausschreibungstexte am Beispiel ingenieurbioologischer Sicherungen und Begrünungen durch Nassansaat nach DIN 18918. – *Neue Landschaft* 1/2003, S. 45-52