

Teil 4

Von Spundwand bis Deckwerk - Aufgaben für Ingenieurbau und Ingenieurbilogie bei der Ufersicherung von Wasserstraßen

Zusammenfassung

Wasserstraßen stellen einen wesentlichen Teil unseres Verkehrssystems dar. Zu ihrem Bau, Ausbau oder Unterhalt sind Baumaßnahmen erforderlich, die zunächst auch Eingriffe in die Natur beinhalten können. Es ist jedoch falsch, eine bestehende Situation in der Natur mit allen Mitteln unverändert lassen zu wollen. Die Natur ist Änderungsprozessen unterworfen, an die sie sich stets angepaßt hat. Anthropogene Eingriffe sind nur ein Anstoß zu solch einem Änderungsprozeß, sofern das Gleichgewicht nicht gestört wird. Aufgabe des Ingenieurbaus ist es daher, bauliche Eingriffe so verträglich wie möglich zu gestalten. Die Ingenieurbilogie zeigt in dieser Richtung Möglichkeiten auf, von denen einige hier vorgestellt wurden und von denen zu hoffen ist, daß sie durch Probeeinbau ihre Tauglichkeit auch an Wasserstraßen mit den dort eigenen Belastungen beweisen können. Wesentlich erscheint, daß zu einem frühen Zeitpunkt in der Planung alle Beteiligten zusammen nach dem optimalen Konzept suchen. Bauteile und Bauverfahren bieten eine ausreichende Flexibilität, um sinnvolle Forderungen auch realisieren zu können, wobei auch Neuland betreten werden kann und darf.

Inhalt

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Einleitung 2 Bauweisen in Abhängigkeit von der Geländemorphologie <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Vertikale Ufer 2.2 Steile Ufer (steiler als 1:3) 2.3 Flache Böschung (Neigung 1:3 und flacher) | <ul style="list-style-type: none"> 3 Die Spundwand als klassische Sicherung vertikaler Ufer und alternative Bauweisen 4 Gabbionen und Betonformsteine für das steile Ufer 5 Pflanzen statt Steine und Mörtel für flache Böschungen |
|--|---|

Literatur

1 Einführung

Bauwerke an Wasserstraßen müssen in zunehmendem Maße Belange des Umweltschutzes berücksichtigen. Zwar stellt die Wasserstraße innerhalb der verschiedenen Verkehrsträger von vornherein die umweltfreundlichste Variante für den Gütertransport dar, dennoch wird immer wieder die Forderung erhoben, die klassischen Bauverfahren zu überdenken und naturnahe Bauweisen zu praktizieren, die ökologischen Erfordernissen besser entsprechen und mehr Naturnähe gewährleisten.

Ein sicherlich richtiger Grundsatz ist, Eingriffe in die Natur so gering wie möglich zu halten. Dieser Gedanke darf jedoch nicht derart übertrieben werden, daß jedweder Eingriff in die Natur unterbunden werden soll bzw., daß eine pseudo-ideale Natur an anderer Stelle wiederhergestellt werden soll (Ersatzmaßnahmen). Zum einen sind Ingenieurbauten erforderlich, um für das Leben in der Industriegesellschaft die erforderlichen Randbedingungen

zu schaffen, zum anderen ist auch die Natur Wandlungen unterworfen, so daß es sicher nicht sinnvoll sein kann, jedweden Wandel abzulehnen. Natürliche Prozesse und damit die Natur selber sind immer etwas Dynamisches, das Veränderungen unterliegt. Natur kann sich durch äußere Einflüsse so verändern, daß man von Naturzerstörung in unserer Denkungsweise reden könnte, z.B. Lawinen, Berggrutsche, Kraterausbrüche, Überschwemmungen etc. Nur ist das Ergebnis das Ende eines natürlichen Vorgangs und beinhaltet gleichzeitig wiederum die Möglichkeit zu einem Neuanfang.

Manchmal allerdings lassen Veränderungen durch äußere Einflüsse, insbesondere anthropogenen Ursprungs, keine Anpassung der natürlichen Abläufe zu bzw. unterbinden diese; der Vorgang wird irreversibel, die Natur geht "kaputt". Es muß also in jedem Fall eine Anpassungsmöglichkeit für die Natur bzw. für natürliche Abläufe gegeben sein. Für die Planung und Durchführung neuer Ingenieurbaumaßnahmen bedeutet dies, daß stets versucht

werden muß, Eingriffe in den Naturhaushalt so gering wie möglich zu halten, und/oder bei jeder Maßnahme der Natur ausreichend Zeit zu gewähren, sich auf die veränderten Randbedingungen einzustellen, bzw. eine Normalisierung mit den neuen Randbedingungen durch entsprechende Maßnahmen zu fördern. Gerade im Wasserbau bestehen viele Möglichkeiten, Hilfestellungen in der o.g. Art zu leisten. Z.B. ist es denkbar, natürliche Baustoffe zu verwenden und dementsprechende Bauweisen zu wählen. Ein erster Schritt kann es sein, wenigstens Elemente solcher Bauweisen zu verwenden, wenn noch nicht genügend Erfahrungen vorliegen oder andere Vorgaben es erschweren, neue, naturnähere Wege zu beschreiten.

Für die Ufersicherung sind als durchaus schon bewährte Bauweisen zu nennen: Faschinen, Buschlagen/Heckenbuschlagen, Buschkisten, Packlagen, Vegetationsmatten, Flechtzäune und dgl. (Abb. 1). In richtiger Weise konzipiert, geplant und ausgeführt, vermögen Lebendbau und ingenieurbio-logische Bauweise sowohl technischen als auch ökologischen Erfordernissen zu entsprechen. Viele Beispiele an Still- und Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland zeigen nach Ablauf von Jahren den Erfolg derartiger Baumaßnahmen und letztendlich auch die Akzeptanz auf breiter Ebene. Beispiele hierfür mögen sein: der Rhein, die Fils, die Nahe und die Oker als Fließgewässer, sowie eine Vielzahl von Rückhaltebecken und Seen künstlichen und natürlichen Ursprungs. Ein Faktum darf jedoch nicht außer acht gelassen werden, daß nämlich in den meisten Fällen lebende und ingenieurbio-logische Bauweisen einen größeren Platz erfordern als technische Bauwerke.

Der Gedanke liegt nun nahe, die o.g. Bauverfahren auch auf natürliche und künstliche Wasserstraßen zu übertragen. Dabei ist jedoch zu prüfen, inwiefern Erfahrungen aus dem bisherigen Einsatzgebiet übernommen werden können.

An Wasserstraßen entstehen durch den Schiffsverkehr Beanspruchungen, die keine Entsprechungen in einem nicht befahrenen Wasserlauf haben. Absenk und Rückströmung sind Einflüsse, die sich insbesondere in Kanälen und schmalen Flußläufen bemerkbar machen. Die Beanspruchungen wirken häufig wiederkehrend, immer im selben Bereich (Wasserwechselzone) und um so stärker, je steiler die Böschungen sind. Es findet nur eine sehr stark eingeschränkte Energiedissipation in den Uferzonen statt, teilweise - je nach Gestaltung dieser - muß mit Reflektionen gerechnet werden.

Eine Bauwerksart, die sich nur an Wasserstraßen findet, zeigt den Widerspruch des Ingenieurbaus und des naturnahen Bauens besonders deutlich, nämlich die Dämme. Ein Damm in einer Landschaft ist geomorphologisch ein Fremdkörper und läßt sich nur mit großem

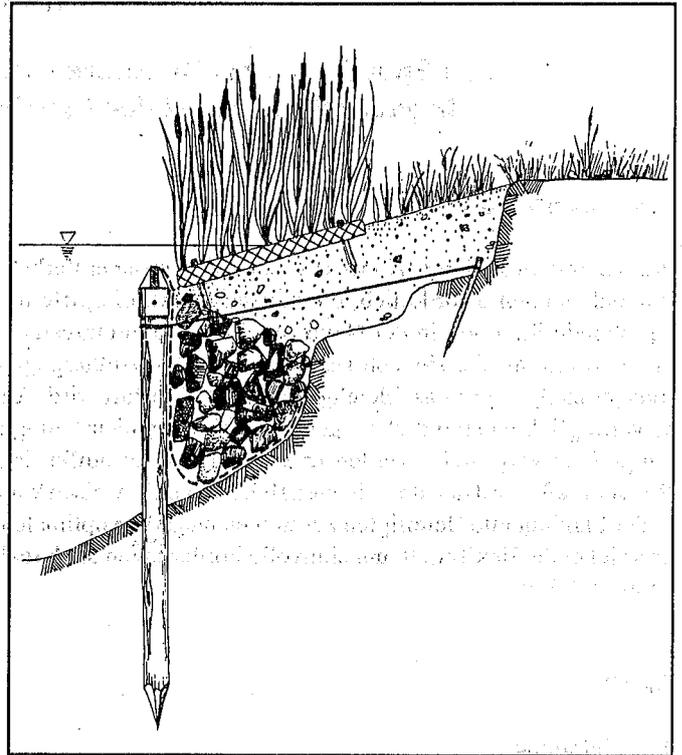


Abb. 1: Ufersicherung am steilen Abbruchufer

Aufwand und erheblichen Mitteln so in die Landschaft einbinden, daß er als Kunstbauwerk nicht mehr zu erkennen ist. Es ist aber neben der Ästhetik eine Frage der Akzeptanz in der Bevölkerung. Es gibt genügend Dämme und Deiche an Fließgewässern, Speicher- und Rückhaltebecken im Binnenland und an den Küsten, deren notwendige Funktion von niemandem infrage gestellt wird.

Die Sicherheitsfragen, also die Beschaffenheit des Dammes hinsichtlich der Standsicherheit und Wasserdichtigkeit, werden i.a. nach rein technischen Gesichtspunkten zu beurteilen sein. Die Sicherung innerhalb des Wasserwechselbereichs gegen Erosion kann aber durchaus ingenieurbio-logisch relevant sein. Es ergeben sich folgende besonderen Anforderungen:

- Die Ufersicherung muß ausreichende Stabilität gewährleisten gegen den äußeren hydraulischen Angriff aus Strömung, Absenk, Rückströmung und Wellen.
- Das Ufer als Gesamtsystem muß im geotechnischen Sinne stabil bleiben, d.h. alle denkbaren Bruchmechanismen im Boden und im Ufersicherungssystem müssen mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen sein. Ein Uferabbruch in einer Dammstrecke kann katastrophale Folgen haben, selbst wenn das Ausmaß durch technische Einrichtungen (Sicherheitstore, Notverschlüsse, Schlauchwehre) begrenzt ist.

- Eine Dichtung muß in jedem Fall funktionstüchtig bleiben. Dabei ist der etwaige Wasserverlust von untergeordneter Bedeutung, vielmehr erzeugen die durch den Wasseraustritt entstehenden Sickerströmungen im Boden hier das Gefahrenpotential, das es zu vermeiden gilt. In zunehmendem Maße wird gefordert, einen Wasseraustausch zwischen freiem Wasser und Grundwasser zu verhindern, um Schadstoffe des Oberflächenwassers nicht ins Grundwasser dringen zu lassen.
- Es muß ausreichender Schutz gegen die Auswirkungen einer Schiffsanfahrung gegeben sein. Diese Belastung muß nicht notwendigerweise sofort zu einem Schaden führen (z.B. "schrappen" über die Böschung, touchieren einer Spundwand), doch können Sekundärschäden insbesondere in Dichtungstrecken entstehen.
- Nicht zu unterschätzen ist Vandalismus, der, häufig nicht einmal in zerstörerischer Absicht, wichtige Funktionen eines Uferschutzes einschränken oder unbrauchbar machen kann.

Damit alle Schutzfunktionen in jeder Situation erhalten bleiben, wird klar, daß die o.g. Anforderungen die Ingenieurbaumaßnahmen bestimmen und für den Bau sicherer Wasserstraßen unvermeidbar sind. Die Alternative, auf Wasserstraßen zu verzichten, ist keine: Der Transport insbesondere von Massengütern auf dem Wasser ist konkurrenzlos nicht allein wegen oder hinsichtlich der Umweltverträglichkeit. Wegen der notwendigen Eingriffen in die Natur beim wohlgeplanten Bau oder Ausbau von Wasserstraßen auf diese Möglichkeit zu verzichten ist kurzsichtig, da es illusorisch ist, anzunehmen, die Warenströme würden geringer.

2 Bauweisen in Abhängigkeit von der Geländemorphologie

2.1 Vertikale Ufer

Vertikale Ufer sind immer dann erforderlich, wenn eine bestimmte Wasserspiegelbreite bei möglichst geringem Platzbedarf erreicht werden soll. Die Sicherung eines vertikalen Ufers erfolgt vielfach durch eine Stahlspundwand, die 1992 ihr 90-jähriges Bestehen feierte. Andere Spundwandmaterialien (Stahlbeton, Holz) werden ebenfalls eingesetzt, spielen jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Mit Spundwänden ist die Herstellung eines vertikalen Ufers i.w. unabhängig von der Geländemorphologie, da sie fast überall eingebracht werden können und der Boden dahinter aufgeschüttet oder davor abgegraben werden kann.

Sofern es die Geländegeometrie zuläßt, ist der Aufbau eines vertikalen Ufers mit Bewehrter Erde (terre-armée) möglich. Dabei kann das vertikale Ufer nur durch

Anschtütten erreicht werden. Lagenweise werden Beton- oder Stahlelemente aufeinandergestellt und mit Stahlbändern (seltener mit Verankerungselementen aus Geokunststoffen) in dem dahinter angeschütteten Boden gehalten.

2.2 Steile Böschungen (steiler als 1:3)

Steile Böschungen können erforderlich werden, wenn die vertikalen Bauweisen nicht ausgeführt werden können oder sollen, Platzgründe aber gegen eine flache Böschung sprechen. Beispiele sind enge Flußtäler, wo an der Talflanke noch Straße und/oder Eisenbahn verlaufen, wo aber vertikale Ufer aus landschaftsgestalterischen Gründen (insbesondere bei starken Wasserstandsschwankungen) vermieden werden sollen.

Steile Böschungen bis fast zur Senkrechten lassen sich durch ein Quadermauerwerk erreichen. Ein Verbund mit Mörtel ist häufig nicht erforderlich, das lose Aufeinandersetzen ist sogar sinnvoll, um eine starre Konstruktion zu vermeiden.

Altbewährt sind aufeinandergeschichtete Gabbionen (Drahtschotterkästen). Hierbei wird Schotter in quaderförmigen Maschendrahtkästen eingeschlossen, wodurch stapelbare Elemente entstehen, die eine große Flexibilität und ein großes Hohlraumvolumen besitzen. Ähnlich verhalten sich Steinwalzen, das sind hochfeste nicht korrosionsgefährdete Netzschläuche mit Steinfüllung, die als vorgefertigte Elemente eingebracht werden. Neuere Entwicklungen erlauben auch eine Verankerung in der dahinterliegenden Schüttung im Sinne der o.g. Bewehrten Erde.

Eine andere Neuentwicklung sind nach oben offene Betonformsteine, die aufeinandergestapelt werden. Die Hohlräume der Betonkörper können mit Substrat gefüllt und bepflanzt werden. Die zum Einsatz kommenden Systeme müssen sicherstellen, daß sich die Pflanzen auf lange Sicht etablieren können.

2.3 Flache Böschung (Neigung 1:3 und flacher)

Auf flache Böschungen können die schon genannten Gabbionen auf Stoß gelegt werden. Genügen geringere Schichtdicken, können die dünneren und größerflächigen Drahtschottermatten Verwendung finden.

Auf 1:3 und flacher geneigten Böschungen haben sich Schuttsteine als Ufersicherung bewährt. Die Stabilität wird durch hohes spezifisches Gewicht der Steine und/oder durch Teilverguß mit hydraulischen Bindemitteln erhöht. Auch Vollverguß mit durchlässigem oder dichtem Vergußstoff wird ausgeführt.

3 Die Spundwand als klassische Sicherung vertikaler Ufer und alternative Bauweisen

Seit Jahrzehnten bewährt ist für alle Bauaufgaben der Sicherung vertikaler Ufer die Stahlspundwandbauweise. Den entscheidenden Durchbruch erfuhr diese Bauweise wohl im Jahre 1930/31, als eine Kostenuntersuchung zum weiteren Ausbau des Dortmund-Ems-Kanals ergab, daß "der Ausbau mit einseitiger Spundwand zur Begrenzung des Kanalquerschnitts billiger ist, als der im Ausbauentwurf vorgesehene Ausbau mit beiderseitigen Böschungen" [12].

Insofern ist es nicht verwunderlich, daß bei 3 von 4 Regelquerschnitten in den Richtlinien für Regelabmessungen des nord-west-deutschen Kanalnetzes [4] Stahlspundwände zum Einsatz kommen. Am wirtschaftlichsten ist dabei sicherlich das Rechteckprofil mit beidseitig über dem Wasserspiegel sichtbarer Spundwand. Dieser Ausbau nimmt am wenigsten Platz in Anspruch und ist auch im Hinblick auf das System Kanal/Binnenschiff überaus günstig, wie vor kurzem durchgeführte Untersuchungen ergeben haben [1]. Dennoch ist davon auszugehen, daß aufgrund steigender Umwelt- und Umfeldanforderungen dieser Querschnitt künftig nur noch in Sonderfällen eingesetzt werden kann, wenn die Örtlichkeiten einen besonders platzsparenden Ausbau bei Einhaltung der geforderten nutzbaren Wasserbreite erfordern.

Ein weiterer Bereich, in dem dieser Querschnitt beibehalten wird, sind die Kanäle, die in Bergsenkungsbereichen verlaufen, wie Dortmund-Ems-Kanal in der Haltung Henrichenburg, Rhein-Herne-Kanal und Datteln-Hamm-Kanal. Dabei übernimmt die Stahlspundwand eine Doppelfunktion:

- Bei notwendiger Aufhöhung der Kanalseitendämme dient die Stahlspundwand als Seitendichtung.
- Nach relativ einfacher Aufständigung und erneuter Verankerung ist die Stahlspundwand auch wieder die Uferwand des Kanals.

Die konstruktive Ausbildung von Uferbauwerken erfolgt meist unter Berücksichtigung der entsprechenden Empfehlungen der EAU [5]. Die Stahlspundwände werden entweder unverankert oder einfach verankert ausgeführt. Dabei erleichtert die unverankerte Wand dadurch, daß sie unter dem Wasserspiegel enden kann, den naturnahen Ausbau.

Mit dem Rechteck-Trapez(RT)-Profil (ein Ufer in Böschungsbauweise, das andere mit Spundwand gesichert) und dem Kombinierten Rechteck-Trapez(KRT)-Profil (Stahlspundwand abgesenkt, darüber Böschung), haben sich in den letzten Jahren Bauverfahren entwickelt, welche den Forderungen nach Natur- und Landschaftsschutz Rechnung tragen. Insbesondere das KRT-Profil läßt sich sehr gut in die Landschaft einbauen. Die Flachwasserzonen hinter der Spundwand bieten Kleinlebewesen Schutz, werden als Laichplatz genutzt und eignen sich zur Anpflanzung standorttypischer Wasserpflanzen. Die konstruktive Ausbildung eines solchen Flachwasserbereichs ist sorgfältig zu planen und auszuführen (Abb. 2).

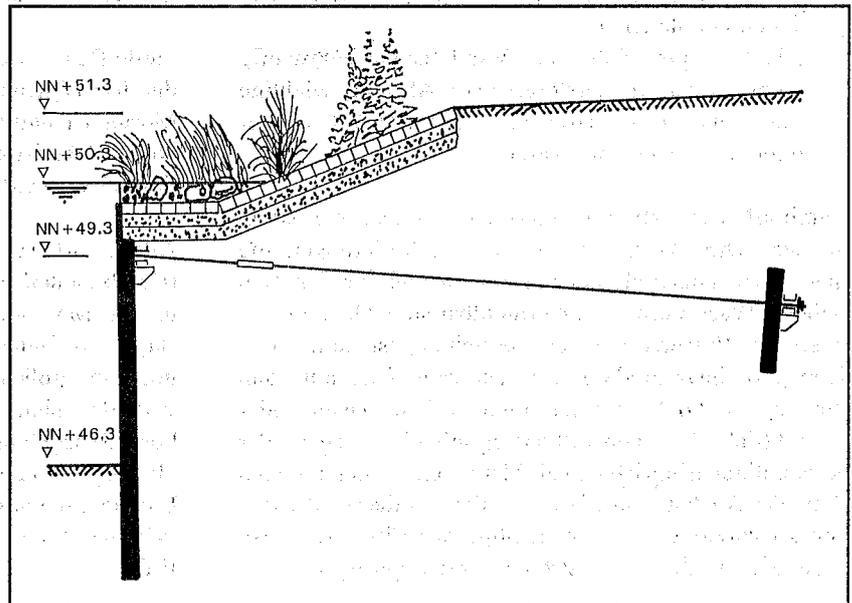


Abb. 2: Kombiniertes Rechteck-Trapez-Profil (KRT)

In sicherheitsrelevanten Abschnitten von Wasserstraßen, z.B. Strecken mit hohen Kanalseitendämmen, in denen die Kanalsohle in Geländehöhe oder gar darüber liegt, gilt der wasserdichten Ausbildung des Kanalbettes besonderes Augenmerk. Für eine senkrechte Ufersicherung ist hier die Spundwand die sinnvolle Lösung, da die Schlösser z.T. werksseitig gedichtet werden können und für die Dichtung in situ verschiedene bewährte Verfahren zum Einsatz kommen (bis hin zum Verschweißen). Zusammen mit der großen Flexibilität und Festigkeit, wodurch auch Anfahrungen und andere außerplanmäßige Situationen gut gemeistert werden können, wird ein größtmögliches Sicherheitsmaß in der Uferbefestigung erhalten.

In diesen Abschnitten kann das KRT-Profil mit abgesenkter Spundwand die Sicherheitsanforderungen nicht erfüllen, da der Anschluß der Spundwand an die Dichtung der oberhalb des Wasserspiegels ansteigenden

Böschung nach dem bisherigen Diskussionsstand immer irgendwelche Nachteile mit sich bringt. In diesen Fällen kann daher nicht darauf verzichtet werden, die Spundwand bis über den Wasserspiegel zu führen. Daß auch hier naturgerechte Bauweisen möglich sind, wird weiter unten ausgeführt.

Mit der Stahlspundwandbauweise lassen sich ferner Forderungen erfüllen, die aus dem Jagd- bzw. dem Freizeitbereich kommen. Die Jäger fordern, daß die Kanäle nicht als unüberwindbare Barrieren für das Wild innerhalb eines Reviers wirken. Um dies sicherzustellen sind entsprechende Wildausstiege in angemessenen Abständen einzuplanen. Die gezeigte Lösung (Abb. 3; a) Schnitt, b) Draufsicht) wurde von der Universität Göttingen überprüft und hat sich bewährt. Auch die Forderung, daß die Kanäle für Freizeitaktivitäten nutzbar sind, kann mit geringem Aufwand realisiert werden. Eine Bootseinsatzstelle in Spundwandbauweise erfordert recht wenig Platz und kann vom Benutzer über den längs des Kanals verlaufenden Betriebsweg erreicht werden.

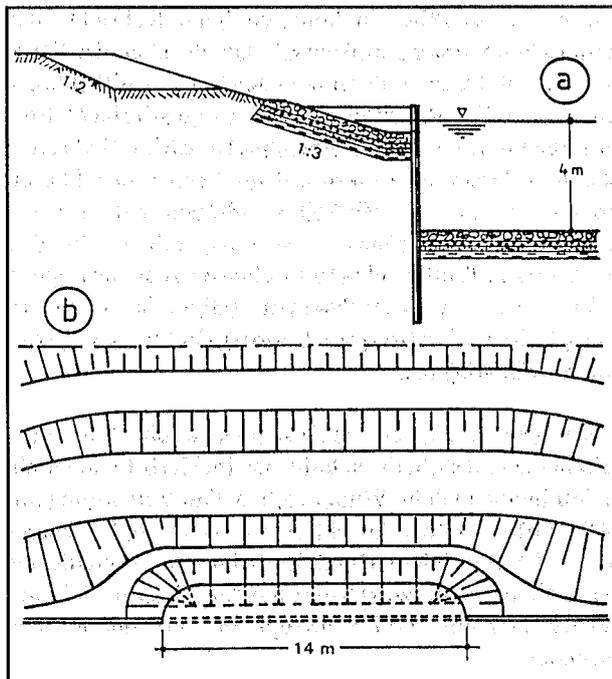


Abb. 3: Wildausstieg an vertikalem Ufer

- a) Schnitt
b) Draufsicht

Wie diese Beispiele zeigen, ist es dank der gestalterischen Möglichkeiten mit Stahlspundwand relativ einfach, die verschiedenen Forderungen zu erfüllen. Wesentlich hierbei ist, daß sich die beteiligten/betroffenen Parteien zu einem frühen Zeitpunkt austauschen, um die Forderungen bei der Vor- und Ausführungsplanung zu berücksichtigen. Viele sog. Nachteile der Bauweise lassen sich mit diesen und anderen Sonderkonstruktionen vermeiden.

An den Querbauwerken von Wasserstraßen wie Dükern und Brücken sind Spundwände zur Ufersicherung häufig unverzichtbar: an Dükern zur Vermeidung von Sickerwegen entlang des Rohres (Schikane) oder als Sicherung von Brückenfundamenten. Z.T. können diese Spundwandbauteile ganz im Erdreich eingebunden sein, z.T. sind sie jedoch sinnvollerweise unmittelbar als Uferbefestigung zu errichten, z.B. um die Spannweite einer Brücke zu begrenzen, wodurch auch die durch Brücke und Rampen benötigte Fläche minimiert wird.

Im Verborgenen wirkt die Spundwand z.B. als Sicherung des Fußes einer befestigten Uferböschung oder im Seitendamm als Dichtung. Dadurch kann sie ihren wesentlichen Beitrag zur Sicherheit liefern, ohne in Konflikt zu naturnahen Bauweisen zu geraten.

Insgesamt wurden zur Ufersicherung von Bundeswasserstraßen einige hunderttausend Tonnen Stahlspundwand eingesetzt. Diese Langzeiterfahrung läßt darauf schließen, daß auch beim weiteren Ausbau des Mittellandkanals und des Elbe-Havel-Kanals auf diese bewährte Bauweise zurückgegriffen wird. Dabei ist auch wichtig darauf hinzuweisen, daß die Stahlspundwand bei sich änderndem Bedarf problemlos entfernt und zu 100 % recycelt werden kann. Als selbstverständlich gilt, daß sich die Qualität der Herstellung im Werk und der Einbaubewachung auf der Baustelle entsprechend den Anforderungen der Euronorm EN 29000/1/2/3/4 weiter verbessern wird.

Wie schon angedeutet wirkt der technisch notwendige und sinnvolle Einsatz von Spundwänden hinsichtlich der Ökologie ein Problem auf: Auf der glatten, senkrechten Stahlwand ist die Möglichkeit der Besiedelung durch Organismen sehr stark eingeschränkt und der Austausch von Organismen zwischen dem aquatischen und terrestrischen Milieu wird unterbunden. Für Tiere, die das Gewässer durchschwimmen wollen, werden senkrechte Wände zur tödlichen Barriere. Wildausstiege, wie oben gezeigt, können an einzelnen Stellen angeordnet werden, lösen jedoch das Problem nicht, wenn die gegenseitigen Abstände zu groß werden, der Wildwechselbereich zu langgestreckt ist oder aus Sicherheitsüberlegungen die Bauweise mit abgesenkter Spundwand abgelehnt werden muß.

Für diese Problemstellung wird auf der Grundlage der Erkenntnisse und Erfahrungen bei früheren Projekten eine Neuentwicklung vorgestellt, genannt "Vorgelagerte Vegetationselemente an vertikalen Ufereinfassungen - VEVU". Erfahrungen mit Prototypen wurden bereits gemacht und die dabei festgestellten Unzulänglichkeiten bei dem nunmehr konzipierten Element beseitigt.

Die Konstruktion des VEVU-Elements besteht aus einem vegetativen und einem technischen Teil. Das vegetative Element und das technische Element werden unmittelbar

vor dem Einbau zu einer Einheit zusammengebaut. Das Gesamtelement weist eine hohe Knick- und Biegesteifigkeit auf. Der Tiefgang der Gesamtkonstruktion und des Freibords ist empirisch ermittelt und ergibt sich aus der notwendigen Ballastierung zur Erzielung einer ausreichenden Stabilität, als auch aus der gewünschten wirksamen Lateralfäche, um bei Wellenauflauf das Element möglichst ruhig und in seiner Lage fixiert am Standort zu halten.

Abb. 4 zeigt schematisch den Aufbau vor einer Spundwand (1). Der technische Teil, d.h. der Auftriebskörper (3), der stabilisierende Ballastkörper (5) und die gegen seitliche Verdriftung wirksamen Lateralfächen (4) setzen sich aus Standardformteilen, d.h. Rohren und Platten, zusammen. Der Auftriebskörper besteht aus Niederdruckpolyäthylen und gilt nach dem heutigen Stand der Technik als chemisch inert und alterungsbeständig. Ein biologischer Abbau, Korrosion oder Kontamination der Umgebung ist ausgeschlossen. Der Ballast besteht aus Stahl bzw. Stahlbeton.

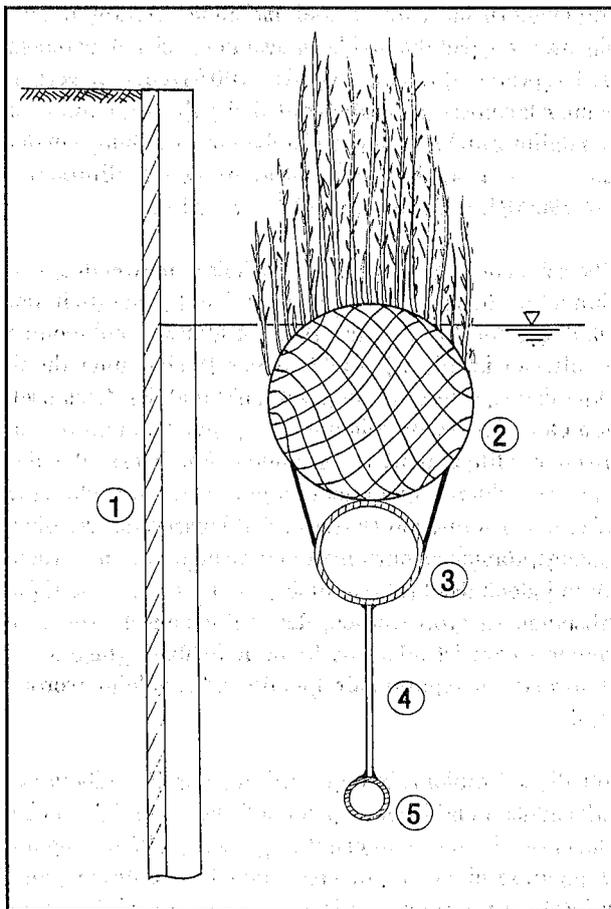


Abb. 4: Vegetationselement für vertikale Ufereinfassungen

Der vegetative Teil ist eine bewährte Vegetationsfaschine (2) von 600 mm Ø, das Substrat besteht aus Kokosfaser mit einer äußeren Ummantelung aus einem

PE-Netz. Das Gewicht trocken beträgt ca. 40 kg/m ohne Bepflanzung, das Naßgewicht ca. 60 kg/m, abgetropft. Die Länge ergibt sich aus handelsüblichen Standardrohlängen sowie auch aus der üblichen Ladelänge eines LKW. Der Bewuchs der Elemente schwankt in seiner Höhe und Ausbreitung je nach Pflanzenart, Vegetationsbedingungen und Jahreszeit. Er kann ca. 0,6 m bis zu 2,50 m Höhe betragen. Dafür werden über einen Zeitraum von 1-2 Vegetationsperioden Pflanzen der Ufer- und Röhrichtzone bis zur Durchwurzelung herangezogen. Die Kokosfasern gelten als umweltfreundliche organische Fasern, die sich im Wasserwechselbereich langsam biologisch abbauen. Der Abbauprozess bis zur Mineralisation der Faser verläuft über einen Zeitraum von etwa 10 Jahren; je nach den Entwicklungsmöglichkeiten der Mikroorganismen im Gewässer. Zur gleichen Zeit baut sich jedoch die organische Biomasse der Pflanzen in wesentlich größerem Umfang auf und kompensiert nicht nur den Substanzverlust, sondern vergrößert insgesamt gesehen die Biomasse. Die PE-Umhüllung des vegetativen Elementes gilt als chemisch inert.

Als geeignete Pflanzen kommen hohe Röhrichte der heimischen Flora im erdfreien Anzuchtssystem EASYBE in Betracht. Dazu gehören in erster Linie Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha angustifolia / latifolia*), Flechtbinsen (*Schoenoplectus lacustris*). Selbstverständlich lassen sich diese mit niederen Röhrichtarten kombinieren, um die Vielfalt zu erhöhen und auch den ästhetischen Bedürfnissen zu entsprechen. Zu den niedrigen, z. T. blühenden Röhrichtarten rechnen Seggen (*Carex* sp.), Wasserschwaden (*Glyceria maxima*), Sumpfschwertlilie (*Iris pseudacorus*), Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) u.a.

Der vegetative Teil entwickelt sich jahreszeitlich in seiner Biomasse und stößt diese teilweise im Herbst wieder ab. Schilf bleibt auch im Winter stehen. Die Versorgung mit Nährstoffen ist über das üblicherweise eutrophe Wasser ausreichend gesichert. Durch Kollision oder Vandalismus beschädigte oder zerstörte Elemente lassen sich auf relativ einfache Weise abkoppeln und durch neue ersetzen.

Neben der Spundwand ist zur Sicherung eines vertikalen Geländesprunges die Bauweise der Bewehrten Erde [11] geeignet. Diese Bauweise hat sich überall dort hervorragend bewährt, wo eine Geländeauffüllung gesichert werden muß. Das System ist sehr anpassungsfähig, da die einzelnen im rückwärtigen Boden verankerten Elemente untereinander flexibel miteinander verbunden sind. Durch strukturierte und bepflanzbare Elemente verschiedener Materialien läßt sich die Wand stark gliedern. Bei Einsatz dieser Bauweise ist es jedoch erforderlich, daß für die Hinterfüllung der Wand ein ausreichend breiter Raum zur Verfügung steht, da die Bewehrungsbänder eine Mindestlänge benötigen, um die auf die Wand wirkenden Kräfte

durch Mantelreibung in den Boden einzutragen. Da die Stabilität der gesamten Konstruktion auf diesem Prinzip basiert, muß auf die Hinterfüllung und das Einlegen der Bewehrungsbänder große Sorgfalt verwandt werden, so daß die Herstellung bisher meist nur im Trockenem erfolgte. Inzwischen wurde jedoch ein Verfahren entwickelt, daß es auch erlaubt, eine solche Ufersicherung auch unter Wasser zu gründen und zu errichten [13] (Abb. 5). Eine dichte Wand ist mit Bewehrter Erde bislang nicht ausgeführt worden.

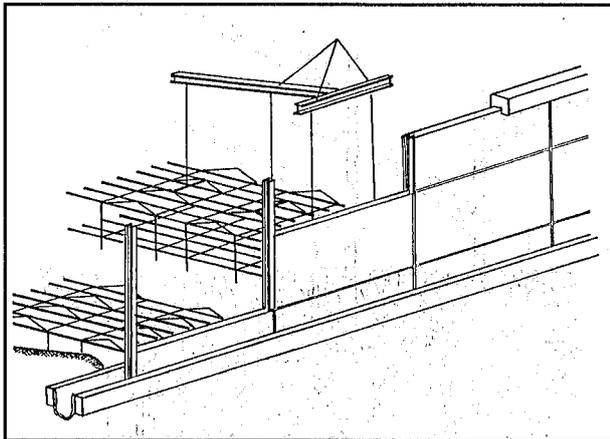


Abb. 5: Bewehrte Erde - Schemazeichnung für Unterwasserkonstruktion [9]
Einsetzen von Wandpaneel und Bewehrungskorb an einer Krantraverse

4 Gabbionen und Betonformsteine für das steile Ufer

Gabbionen sind eine alte Bauweise zur Sicherung steiler Böschungen - nicht nur im Wasserbau. Die Stabilität einer solchen Sicherung hängt aber im wesentlichen ab von der Korrosionsbeständigkeit der Drahtbehälter. Gabbionen sind gutmütig hinsichtlich der Verformungen des Untergrundes, jedoch ist das Drahtgewebe empfindlich gegenüber Anfahrungen und Vandalismus. Die Schotterfüllung der Gabbionen ist sehr hohlraumreich, wodurch angeschwemmte Pflanzenteile oder Samen in mit der Zeit abgelagertem Substrat zu einer Begrünung führen (sofern dies nicht bewußt herbeigeführt wird) und unter Wasser entsprechenden Tieren Laich- und Ruheräume zur Verfügung gestellt werden, die nach bisherigen Erfahrungen auch ausgiebig genutzt werden.

Die Nachteile der relativ leichten Verletzbarkeit von Gabbionen vermeiden Ufersicherungen aus Betonformsteinen. Zwar ist das Einzelelement betonstarr, jedoch ist der Verband einer Wand sehr flexibel und kann horizontale und vertikale Bodenverformungen leicht aufnehmen. Die Betonelemente sind meist als Hohlkörper ausgebildet, so daß darin entweder Substrat eingebracht werden kann oder diese als Unterstand für Fische und andere Wassertiere dienen können. Ein Beispiel sind die

sog. Wasserlöffel, oben offene Betonformsteine, bei denen durch Konstruktionsdetails ein Ausspülen weitgehend unmöglich ist und der anstehende Boden wirksam zurückgehalten wird [10].

Bei allen Konstruktionen mit Einzelelementen, d.h. Quadern, Gabbionen oder Betonformsteinen, ist eine sichere Fußkonstruktion erforderlich. Diese kann zumeist nur im Trockenem eingebracht werden, selbst wenn das Absetzen der Elemente selbst im Nassen erfolgen kann. Auf Felsuntergrund ist eine rein nasse Bauweise denkbar. Gabbionen sind so flexibel, daß sie ggf. ohne Fundament auskommen, wenn die zu erwartenden Verformungen gering bleiben. In diesem Fall ist zur Sicherung gegen Kolke eine Fußvorlage aus Gabbionen oder Steinmatratzen zu empfehlen.

Grundsätzlich ist eine Filterzwischen-schicht hinter der Stütz- und Schutzkonstruktion anzuordnen, um ein Ausspülen des anstehenden Bodens durch die Fugen bzw. Hohlräume zu verhindern. Sowohl Kornfilter als auch geotextile Filter sind hierfür geeignet.

5 Pflanzen statt Steine und Mörtel für flache Böschungen

Für die 1:3 geneigten Böschungen von Kanälen werden Deckschichten aus losen, teilvergossenen oder vollvergossenen Schüttsteinen als Regelbauweisen eingesetzt. Auch an Fließgewässern ist diese Ufersicherungsart verbreitet, außerdem für Bühnen und Längswerke. Diese Bauweisen bieten je nach Variante einen sehr guten Schutz gegen äußere Angriffe, gegen Umlagerungen des Bodens unter der Deckschicht und sind, mit Ausnahme des Vollvergusses, gleichzeitig ökologisch sehr gut integrierbar, da sie Lebensraum schaffen. Der Vollverguß, der, dicht und durchlässig, alle Hohlräume verfüllt, vernichtet damit genau diese Lebensräume. Das Aussparen von Pflanzlöchern in solchen Deckwerken ist vergeblicher Aufwand, da die Pflanzen in ihnen keine Chance haben, sich an ihrem Standort zu etablieren.

Ufersicherungen aus losen oder teilvergossenen Schüttsteinen sind daher zunächst als optimale Ufersicherung anzusehen: Hohe Stabilität und leichte Reparierbarkeit gehen einher mit guten Lebensbedingungen für Flora und Fauna. Die losen Schüttsteine können bei starker dynamischer Belastung infolge ihrer Bewegungsfreiheit Pflanzen durch Scheuerbewegungen schädigen. Ein gewisses "Festsetzen" ist also durchaus von Vorteil. Dabei darf der Hohlraumgehalt der Deckschicht jedoch nur unwesentlich verringert werden. Für den Bau bedeutet das Vergießen wegen der notwendigen Sorgfalt einen etwas erhöhten Aufwand, jedoch sind die Verfahren ausgereift und die Firmen verfügen über ausreichende Erfahrung, so daß hieraus kein Gegenargument entwickelt

werden kann. Alle Bauarten sind über und unter Wasser herstellbar und damit an Wasserstraßen universell einsetzbar. Sollen oder müssen kleinere Steine verwendet werden, so besteht die Möglichkeit, sie durch Drahtgeflecht zu sichern, um ihre Lagestabilität zu gewährleisten (Drahtschottermatratzen). Wie bei Gabionen ist jedoch das Drahtgeflecht empfindlich gegenüber Anfahrnung und Vandalismus.

Die bekannten und technisch bewährten Konstruktionen können jedoch in ökologischer Hinsicht nicht in jedem Fall befriedigen. Pflanzliche und tierische Organismen fehlen zunächst oder sind nur in sehr beschränkter Artenvielfalt und Zahl vorhanden. Die nachträgliche Begrünung eines Deckwerks mit Pflanzen ist zwar technisch möglich; allerdings ist der Aufwand beträchtlich. Die Ansiedlung von Pflanzen in Deckwerken bedarf nicht nur einer Auswahl geeigneter Pflanzen, sondern es muß auch der eigentliche Vegetationskörper und seine Verankerung im Deckwerk den Standortbedingungen entsprechen. Die Ausbildung von Bermen im Wasserwechselbereich gibt den Pflanzen eine zusätzliche Hilfe bei der Entwicklung. Die Einbringung speziellen Füllsubstrates um die Pflanze herum, der Rückschnitt, die Bewässerung, die Entfernung von Treibsel, Vorkehrungen gegen Verbiß und Vertritt, die Pflanzzeit sind Fakten, die bei der gesamten Konstruktion Berücksichtigung finden sollten [2].

Ausgehend von dem Bild nachträglich bepflanzter Schüttsteindeckwerke, ist der Gedanke weiterzuentwickeln, ob nicht die Pflanzen alleine oder vornehmlich die Schutzfunktion übernehmen können. Die Funktion eines Deckwerks wird durch das Gewicht und die gegenseitige Verkeilung neben- und übereinander liegender Steine bewirkt. Im allgemeinen gilt, je größer, schwerer und kantiger die Einzelsteine und je dicker die Gesamtlage, um so sicherer schützt sie die Uferböschung. Wirksame Bodenfilter sind hierbei unabdingbare Voraussetzung für den Erhalt der Funktionsfähigkeit. Diesen genannten technischen Prämissen stehen ökologische Erfordernisse gegenüber. Der Gesetzgeber fordert, daß Bauweisen in der Landschaft durch Organismen besiedelbar sein müssen; in diesem Fall zunächst die Ansiedelung von Pflanzen und Mikroorganismen. Herkömmliche Deckwerke stellen einen ungünstigen Standort für eine spontane Besiedelung dar. Für die Ansiedelung von Pflanzen unter den extremen Bedingungen wie Wellenaufschlag, Strömung, Sog, Druck usw. und ihrer möglichen späteren Ausbreitung wäre u.a. ein kornabgestuftes Substrat zu wünschen, in dem sich Wurzeln und Rhizome entwickeln können. Hierbei umklammern sie die Partikel des Substrats in einem weit verzweigten, immer feineren und miteinander verwobenen Wurzelsystem. Die Auswahl geeigneter Pflanzen bewirkt nicht nur eine flächige, sondern eine tiefere Durchwurzelung des gesamten Substrats.

Allerdings lassen sich diese für die Entwicklung der Pflanzen idealen Voraussetzungen mit herkömmlichen Deckwerken nicht herstellen. Ausgehend von diesen Erkenntnissen und Prämissen wurde ein Deckwerksystem entwickelt, das sowohl den technischen Erfordernissen leichter bis mittelschwerer Deckwerke entspricht und in dem die ökologischen Belange stärkere Berücksichtigung finden, als in den bisher bekannten und praktizierten Bauweisen (Abb. 6).

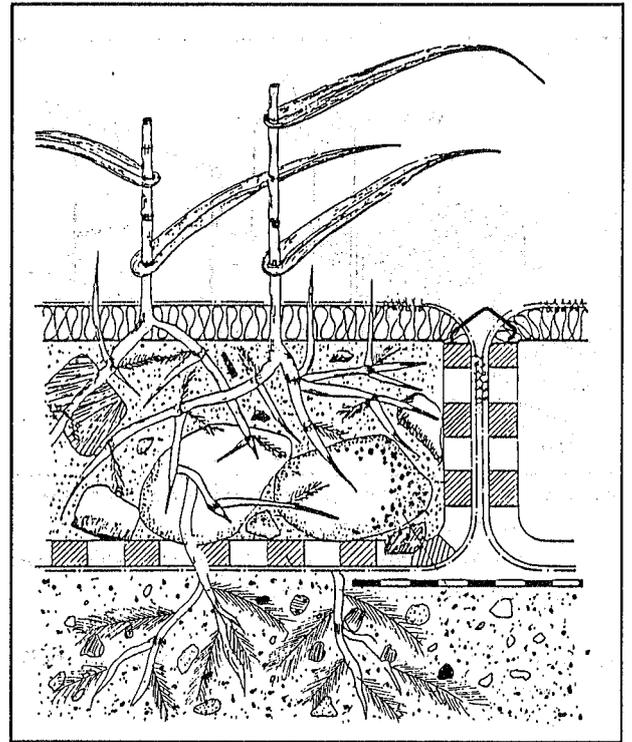


Abb. 6: Vegetatives Deckwerk - Draufsicht

Dieses "Vegetative Deckwerk" [3] besteht aus kornabgestuftem Metallhüttenschlacke mit einer Körnung von 5 - 15 cm. Die Unbedenklichkeit und Umweltverträglichkeit des Materials für wasserbauliche Belange wurde in verschiedensten Untersuchungen offizieller Stellen nachdrücklich bestätigt. Die Hohlräume des Gesteinsmaterials werden ausgefüllt mit feinkörniger Metallhüttenschlacke - Brechsand; Körnung 0 - 5 mm - im Unterwasser- und Wasserwechselbereich, oberhalb der Wasserwechselzone mit Lava; Körnung 2 - 5 mm. Es ergibt sich in der derzeitigen Form ein Gesamtgewicht ohne Bewuchs von ca. 360 kg/m². Die Verwendung anderer Gesteinsarten ist grundsätzlich möglich.

Die äußeren Konturen bestimmen sich durch eine Umarmung aus hochfesten, grobmaschigen Netzen aus Polyamid. Diese Armierung ermöglicht die Handhabung und den Transport der Elemente, als auch die sichere Festlegung des Vegetativen Deckwerks während der Anwuchsphase. Textile Zwischenschichten und Filter bewirken eine Stabilisierung und Festlegung des Mine-

ralkorns bei gleichzeitiger Filterwirkung gegenüber dem anstehenden Boden. Für die Dauerhaftigkeit des Deckwerks ist dieses eine unverzichtbare Voraussetzung.

Das Vegetative Deckwerk ist so aufgebaut, daß die Durchlässigkeit dauerhaft erhalten bleibt und sich kein Wasserdruk unter dem Deckwerk selbst bilden kann.

Der Kornaufbau als auch die Auffüllung der Hohlräume mit unterschiedlichem feinkörnigen Material gewährleistet einerseits eine gute Verwurzelung und Durchwurzelungsmöglichkeit als auch eine Filterwirkung gegenüber dem anstehenden Substrat. Durch die Kapillarität und das Speichervermögen der oberhalb der Wasserwechselzone eingelagerten Lava wird die Wasserversorgung und Speicherung der Feuchtigkeit und damit die Besiedelungsmöglichkeit durch Pflanzen gewährleistet.

Das Vegetative Deckwerk wird mit Pflanzen der Ufer- und Röhrichtzone besetzt und über einen Zeitraum von ca. 1 - 2 Vegetationsperioden, abhängig von Pflanzenart und Vegetationsbedingungen, herangezogen. Die Auswahl dieser Arten erfolgt nach Analyse der Standortbedingungen bzw. nach Wunsch des Auftraggebers. Die Pflanzen durchdringen mit Wurzeln und Rhizomen die Substratschicht, verklammern sich untereinander und mit dieser und formen letztlich ein zusammenhängendes, kompaktes, vegetativ mineralisches Deckwerk. Nach Abschluß der ersten Phase in der vegetativen Entwicklung, das heißt der Verwurzelung und Rhizombildung, erfolgt der Einbau.

Für die Bepflanzung kommen heimische Arten der Ufer- und Röhrichtzone in Frage, vornehmlich Schilf, Seggen, Iris, Kalmus u.a. Besonders berücksichtigt werden jene Arten, die tiefe Verwurzelung und ein weitverzweigtes Rhizomsystem aufweisen. Die Durchwurzelung von mineralischen Filtern ist für die genannten Pflanzenarten problemlos. Textile Filterschichten werden, sofern die Rhizome senkrecht auf sie treffen, in den meisten Fällen durchstoßen. Horizontal verlaufende Rhizome durchdringen textile Filterschichten, sofern sich kleinste Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche derselben ergeben. Die Durchdringungsmöglichkeit der Rhizome von unten nach oben ist dabei stärker als von oben nach unten. Sind Filterschichten dieser Art einmal durchwurzelt, so bilden sich unterhalb oder oberhalb derselben Sekundär-rhizosphären. Letztendlich wird das textile Element in der Rhizosphäre inkorporiert.

Der möglichen Kanalbildung von abgestorbenen Rhizomen im Bereich bindiger Substrate kommt besondere Bedeutung zu. In lockeren Böden schließen sich im allgemeinen die Wurzelkanäle wieder, wenn die Rhizome abgestorben sind. Das Substrat sackt nach im Gegensatz zu bindigen Böden, die während der Wachstumsphase des Rhizoms verdrängt und verdichtet werden. Dieser

Vorgang ist nicht im gleichen Maße reversibel. Die Auswahl der Pflanzen, die sich für diesen Bereich besonders eignen, muß im Hinblick auf Wachstumscharakteristik, Gewebestruktur und Dimension der Rhizome erfolgen.

Die Tiefe der Durchwurzelung ist nicht nur selbstverständlich von Art zu Art verschieden, sondern richtet sich auch nach dem Substrat und seiner Körnung als auch der Verfügbarkeit von lebensnotwendigem Wasser. Einige Arten wie beispielsweise *Iris pseudacorus* wurzeln bis zu 1 m Tiefe und bilden einen starken vitalen Wurzelraum.

Vegetative Deckwerke lassen sich nach bisherigen Vorstellungen und Erkenntnissen dort sinnvoll einsetzen, wo ansonsten leichte bis mittelschwere Deckwerke verwendet werden:

- Flußbau in mittleren Gewässerabschnitten
- Kanalbau
- Sicherung erosionsgefährdeter Ufer an Stillgewässern
- Sicherung von Ufern an tideabhängigen Strömen und Flüssen oder solchen mit schwankenden Wasserständen.

Erste Erfahrungen an windwellenbeanspruchten Stauraumufern und Stellen mit ähnlichen Beanspruchungen liegen vor. Eine erste Probeverlegung an einer Wasserstraße erfolgte im Herbst 1992.

Literatur

- [1] Bartnik, W.; Lankenau, D.: Folgerungen aus Natur- und Modellversuchen für Schiffahrt und Kanalauskleidung, Binnenschiffahrt - ZfB (1992), Heft 7, S.296-300
- [2] Bestmann, L.: Bepflanzung von Deckwerken. Wasser und Boden (1991), Heft 3, S.160-163
- [3] Bestmann, L.: Vegetatives Deckwerk. Informationsschrift Nr.19. Eigenverlag, Wedel 1991
- [4] Bundesministerium für Verkehr - Abt.Binnenschiffahrt und Wasserstraßen: Richtlinien für Regelabmessungen des nord-westdeutschen Kanalnetzes, 1990
- [5] EAU (Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Uferneinfassungen"), 8.Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 1990
- [6] Hoesch Stahl AG: Spundwandbericht 2 - Fußsicherung geböschter Kanalufer (Geschäftsbereich Profile 10/91) - Firmenschrift

[7] Müller, J.: Gepanzerte Spundwand - neue Uferbauweise bei Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen. In: Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V. 39 (1983)

[8] Pflug, W. (Hrsg.): Uferschutzwald an Fließgewässern. Verlag Krämer, Stuttgart 1982

[9] Reinforced Earth Comp.: Ontario Hydro uses new R/E marine wall technology. Reinforced Earth - Update, Fall 1989. Toronto: Reinforced Earth Company Ltd., 1989

[10] Silidur: Produktinformation Löffelstein und Wasserlöffel. Ellwangen: Hermann Spengler KG, 1989.

Firmenschrift

[11] Terre Armée Internationale S.A.: Development and worldwide application of reinforced earth. Puteaux: Eigenverlag, 1992

[12] Wasserbaudirektion Münster: Untersuchungen über den Ausbau des Dortmund-Ems-Kanals (unveröffentlicht). Münster 1930

[13] Weinreb, D.; Noel, B.: Constructin of a marginal wharf using reinforced earth technology. Proceedings International Harbour Congress, Antwerpen 1992