

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 101 (1989)

Artikel: Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug = Mechanical impacts on natural reed stands by wind, waves and drift

Autor: Binz-Reist, Hans-Rudolf

Kapitel: IV : Schlussfolgerungen und Diskussion im Hinblick auf Schutzmassnahmen mechanischer Art : mechanischer Schutz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308911>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

2 .MECHANISCHER SCHUTZ

2.1. ALLGEMEINES

Der mechanische Schutz des Schilfes bezweckt, mechanische Energie soweit als möglich von den Pflanzen fernzuhalten. Der Erosionsschutz fällt zwar nicht unter diese Definition, soll aber trotzdem in diesem Zusammenhang behandelt werden, weil es sich ebenfalls um physikalische (mechanische) Vorgänge handelt.

Die Quelle der hier in Frage kommenden mechanischen Energie ist der Wind, und durch diesen verursacht, die Wellen. Im Teil II wurde gezeigt, wie bei vorhandenem Treibzeug ein um ein Mehrfaches höherer Anteil dieser Energie auf das Röhricht einwirkt. Die resultierenden Verformungen und Beanspruchungen des Halmes sind das Äquivalent dieser Energie.

Einen Anhaltspunkt über die Größenordnung der Wellenenergie möge das Zahlenbeispiel a) aus Teil II, Kapitel 3.2.2., liefern (Wellenhöhe $H = 66 \text{ cm}$, Wellenlänge $L = 10,7 \text{ m}$, Wellenperiode $T = 3,3 \text{ s}$). Nach Gleichung (32.10) im Teil II ist der Energieinhalt E pro Flächeneinheit einer Welle gleich $1/8 \rho g H^2$ ($\rho = \text{Dichte des Wassers} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = \text{Erdbeschleunigung} = 9,81 \text{ m/s}^2$), das ergibt $1000 \cdot 9,81 \cdot 0,66^2 / 8 = 534,2 \text{ J/m}^2$ (bzw. $\text{N}\cdot\text{m/m}^2$). Betrachten wir einen 1 m breiten, von Wellenkamm zu Wellenkamm reichenden Streifen, so wird dessen Energieinhalt gleich $E L \cdot 1 \text{ m} = 534,2 \text{ N}\cdot\text{m/m}^2 \cdot 10,7 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 5720 \text{ N}\cdot\text{m}$ oder rund 580 m·kp. In Teil II, Kap. 3.2.2.2. (S. 128) steht, daß die Energie einer Welle mit der sogenannten Gruppengeschwindigkeit C_g transportiert wird. Nach der dortigen Gleichung (32.99) wird die Gruppengeschwindigkeit für unser Beispiel ($L = 10,7 \text{ m}$, Wassertiefe $d = 1 \text{ m}$) gleich 90% der Fortpflanzungsgeschwindigkeit C der Welle. Mit jeder Welle, d.h. alle 3,3 s, treffen also 90% der oben errechneten Energie auf das Ufer, das sind 5150 N·m (rund 525 m·kp). Pro Sekunde ergibt das 1560 N·m (rund 160 m·kp). Dies entspricht der kinetischen Energie zweier im Schrittempo (4,8 km/h) rollender PKW von je 870 kg Masse. Bedenkt man, daß die dem Grenzmoment eines Schilfhalmes entsprechende Verformungsenergie in der Größenordnung von 0,1...0,2 N·m (für den Bruch etwa das Doppelte) liegt, so wird sofort klar, daß das Schilf nur darum überleben kann, weil normalerweise nur ein ganz geringer Teil dieser Energie direkt auf den Halm einwirkt. Dies ist darum möglich, weil der Halm mit rund 1 cm Durchmesser dem Wasser nur eine kleine Angriffsfläche entgegenseetzt und die Abstände

zwischen den Halmen in einem normal dichten Bestand mehr als das Zehnfache des Durchmessers betragen. Auch wenn man im Auge behält, daß beim Durchgang einer Welle durch einen Schilfbestand der weitaus größte Teil der Wellenenergie schließlich durch Wirbelbildung in Wasser und Luft "verloren geht" (d.h. in Wärme umgewandelt wird), so leuchtet es angesichts der oben genannten Größenordnungen ohne weiteres ein, daß für das Schilf dann sehr bald kritische Verhältnisse entstehen, wenn durch Treibzeug ein größerer Teil der angreifenden Wellenenergie auf die Halme übertragen und konzentriert wird.

Aus den obigen Betrachtungen geht hervor, daß wir grundsätzlich zwei Möglichkeiten für den schützenden Eingriff haben:

Wir können versuchen,

- a) die einlaufenden Wellen zu dämpfen oder
- b) durch Fernhalten von Treibzeug die Konzentration der Wellenenergie auf die (vorderen) Halme verhindern.

Die Menge des Treibzeugs läßt sich durch periodisches Entfernen (vor allem im Winter) und durch bauliche Maßnahmen reduzieren. Die baulichen Maßnahmen sollen verhindern, daß ständig neues Getreibsel in den Bestand eingeschwemmt wird. Solche Bauten verhindern meist auch das Betreten und Befahren des Schilfes und bieten so dem Bestand einen zusätzlichen Schutz.

Bei den Schutzbauten sind zwei Kategorien zu unterscheiden, die grundsätzlich verschieden konstruiert werden müssen: Bauwerke, welche die Wellen dämpfen und solche, die die Wellen nicht dämpfen. Muß der Einbau die Wellen nicht dämpfen, so ist er möglichst durchlässig zu bauen, um den Wellen keinen Widerstand entgegen zu setzen: Dies erlaubt relativ leichte und billige Konstruktionen. Bei Anlagen zur Wellendämpfung ist daran zu denken, daß trotz der im allgemeinen bei höheren Wellen verhältnismäßig kleineren Dämpfungswirkung die Beanspruchung überproportional zunimmt. Solche Bauten erfordern deshalb eine massive und aufwendige Bauweise und müssen den größten, sinnvollerweise zu erwartenden Wellen ("Dimensionierungswelle") gewachsen sein, wobei zur Festlegung der Dimensionierungswelle Aufwand, Lebensdauer des Bauwerks und mögliche Schadwirkungen bei Versagen gegeneinander abgewogen werden müssen. Wie die Wellenkenngrößen aus angenommenen, äußeren Bedingungen berechnet werden können, ist in Teil II, Kap. 3.2.1., beschrieben.

2.2. REDUKTION DES TREIBZEUGS

Obwohl es sich hierbei nicht um eine bauliche Maßnahme handelt, sei die Reduktion des Getreibsels an erster Stelle besprochen, denn es ist die billigste und eine der wirksamsten Möglichkeiten für den Schilfschutz. Eine Ergänzung mit andern Maßnahmen (z.B. Zäune) ist selbstverständlich möglich und verstärkt die Wirkung oder macht sie nachhaltiger, wenn kein neues Material mehr in den Bestand geschwemmt wird.

Einen Hinweis auf die Wirksamkeit dieser Maßnahme geben die aus den Berechnungsbeispielen des mathematischen Modells im Teil II gewonnenen Kurven der Figuren 4.40. und 4.41.: Daraus läßt sich für verschiedene Wellenhöhen H_0 herauslesen, auf wieviele Prozent diese Wellen verkleinert werden müßten, damit bei vorhandenem Treibholz ihre Wirkung auf das Schilf gleich stark wäre wie ohne Treibzeug, bzw. wie wenn das Treibzeug entfernt würde. Dabei ist zu bedenken, daß die Wellenenergie proportional zum Quadrat der Wellenhöhe ist, eine Verkleinerung der Wellenhöhe auf z.B. 80 % vermindert die Wellenenergie auf 64 %. Aus diesen Kurven geht auch hervor, daß die Wirksamkeit der Treibgutentfernung mit wachsender Wellenhöhe verhältnismäßig zunimmt, wogegen bei vielen baulichen Wellendämpfern das Gegenteil der Fall ist. Dies gilt auch dann, wenn man berücksichtigt, daß die erwähnten Kurven natürlich nur Rechenbeispiele mit einem angenommenen Treibholz von 6 kg Masse pro Laufmeter Uferlinie sind und die Resultate mit all den in Teil II, Kap. 4.4., genannten Vorbehalten zu beurteilen sind. Wenn man in Teil II, Fig. 4.33., sieht, daß eine Verdoppelung der Treibzeugmasse die Beanspruchung nur unwesentlich verändert, so darf man annehmen, daß diese Kurven qualitativ allgemeingültig sind, vermutlich selbst im Falle von Algenwatten.

Ganz problemlos ist auch das Entfernen des Treibzeugs nicht. Insbesondere muß darauf geachtet werden, daß möglichst wenig Trittschäden entstehen, welche den Erfolg bei ungünstigen Umständen in Frage stellen könnten. Ganz besonders wichtig ist es, daß keine Halme unter Wasser geknickt werden. Wo die Seespiegelschwankungen dies erlauben, sind solche Aktionen deshalb trockenen Fußes durchzuführen. Bei schweizerischen Verhältnissen ist das meist im Winter möglich, was den Vorteil hat, daß die oberirdischen Organe des Schilfes in dieser Zeit ohnehin abgestorben sind. Der Bruch dieser abgestorbenen Stengel schadet dem Schilf nicht. Andererseits treiben die Jungsprosse für die folgende Halmgeneration schon im Herbst bis nahe an die Erdoberfläche oder darüber hinaus (HÜRLIMANN 1951). Beim Wegräumen von

Treibgut muß deshalb darauf geachtet werden, möglichst keine Jungsprosse abzuknicken (was natürlich nie ganz gelingen wird). Werden die Jungsprosse geknickt, so sterben sie ab, und das Rhizom treibt mehrere neue Sprosse aus. Diese Sekundärtriebe sind aber deutlich schwächer und kleiner ausgebildet als die Primärsprosse. Ein derart geschädigter Bestand wird deshalb zwar dichter, besteht aber aus dünneren und weniger widerstandsfähigen Halmen.

Die Gefahr von Trittschäden ist kleiner, wenn die Arbeiten bei gefrorenem und damit tragfähigem Boden ausgeführt werden oder dann, wenn das Wasser von einer begeh- bzw. befahrbaren Eisplatte bedeckt ist. Ein Nachteil ist dabei allerdings, daß große Getreibselstücke dann oft festgefroren sind, was ihre Beseitigung erschwert.

Nicht verschwiegen sei, daß das (kontrollierte) Abbrennen des Schilfes im Winter die Wegräumarbeiten sehr erleichtert, allerdings sind gegen das Abbrennen der abgestorbenen Schilfhalme aus anderer Sicht schwerwiegende Vorbehalte zu machen (unbekannte langfristige Auswirkungen auf Flora und Fauna, insbesondere Insekten; vgl. Kap. 3.).

Außer dem Treibholz und den Abfällen sollten möglichst auch vorhandene Algenwatten und abgebrochene Schilfhalme (Streu) entfernt werden, um die Aufwuchsbedingungen für die neue Halmgeneration zu verbessern.

Steht der Bestand während des ganzen Jahres im Wasser, so muß das Treibzeug bei entsprechender Wassertiefe von einem Boot aus eingesammelt werden. Dabei ist mit äußerster Vorsicht zu arbeiten. Von der Seeseite her sollte nur soviel Treibgut gesammelt werden, wie ohne Eindringen in den Bestand erreicht werden kann, außer bei sehr lockerem Röhricht, welches befahren werden kann, ohne die Halme zu knicken. Auch von der Landseite her sollte der Bestand nur so viel wie unbedingt nötig befahren werden. Nutzen und Schaden müssen in jedem Fall sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

Dasselbe gilt auch bei starker Algenbildung. Da dichte Algenwatten für das Schilf äußerst gefährlich sind, (vgl. Teil II, Fig. 3.39.) und außerdem verrottende Algen in gewissen Fällen Gifte freisetzen (SCHRÖDER 1979, OSTENDORP 1981, HENNING und KOHL 1981), müssen diese Algen (wenn nötig und möglich periodisch) noch während der Vegetationszeit entfernt werden. Dabei ist eine gewisse Beschädigung des Schilfes unter Umständen nicht zu vermeiden.

Da viele Bäche und Flüsse nach starken Gewittern große Mengen von Treibholz und anderem Geschwemmsel mit sich führen, ist es vorteilhaft, wenn der Bestand nach jedem Unwetter von der Seeseite her kontrolliert werden kann. Das Treibzeug sollte dann sofort entfernt werden, auf jeden Fall noch bevor es in den Bestand hineingetrieben worden ist.

Auch die Beseitigung oder Deponierung des gesammelten Treibzeugs kann zu einem Problem werden. Mit was für Kubaturen dabei zu rechnen ist, haben wir bereits in Teil I, Kap. 2.3. (Untersuchungen von MORET 1980) gesehen. Getrocknetes Treibholz kann in günstigen Fällen der Bevölkerung als Brennmaterial abgegeben werden.

Deponieplätze müssen das ganze Jahr über hochwasserfrei sein, sonst sind unliebsame Überraschungen zu gewärtigen.

2.3. ZÄUNE

Unter Zäunen verstehen wir in diesem Zusammenhang durchlässige Konstruktionen zur Abhaltung äußerer mechanischer Einflüsse, ohne die Wellen zu dämpfen (analoge Einrichtungen zur Wellendämpfung vgl. Kap. 2.5.)

Zäune sind eine recht billige, aber meist wirksame Maßnahme zum Schutz von Röhricht. Obwohl sie in der Regel wegen dem Treibzeug errichtet werden, verhindern sie gleichzeitig das Betreten und Befahren des Bestandes, was je nach Verhältnissen von gleicher oder gar größerer Bedeutung sein kann. Zur Argumentation in der Öffentlichkeit wird man den Akzent mit Vorteil auf die erstgenannte Wirkung der Zäune legen.

Vom Zürichsee wird berichtet (BURNAND 1980, SCHANZ 1980, STRAUB 1984), daß Einzäunungen, z.T. kombiniert mit Schwimmbalken (deren Wirkung allerdings nicht hoch zu veranschlagen ist, vgl. Kap. 2.4.1.), den Rückgang in den meisten Fällen zu stoppen vermochten; einzelne Bestände haben sich sogar wieder etwas ausgebreitet. In letzter Zeit beurteilt BURNAND (1986 mdL) die Zäune nicht mehr so optimistisch, beim Studium der Schilfbestände am Zürcher Ufer des Zürichsees konnte er im gesamten keinen Unterschied in der Entwicklung zwischen eingezäunten und freien Beständen mehr feststellen. Allerdings müßte noch geprüft werden, inwieweit bei diesen Beständen eingeschwemmtes Treibzeug (allenfalls auch Wasservögel) überhaupt eine Rolle spielte, da jeder Zaun wirkungslos bleiben muß, wenn es gar nichts abzuhalten gibt.

Auch im Gwattischenmoos am Thunersee wurden günstige Wirkungen von Schilfzäunen beobachtet (STRÜSSI 1978). Allerdings handelt es sich hier eher um Käfige als um Zäune, da die betreffenden (kleinen) Schilfbestände allseitig, also auch gegen oben, abgeschlossen wurden, um den zahlreichen Bläßhühnern den Zugang zu verunmöglichen. Später (1979/80) wurden weitere 10 a des Schilfgürtels mit einem 2 m hohen, an 4,5 m langen Pfählen befestigt.

ten Maschengitter eingezäunt (INGOLD et al. 1985). Nach vier Jahren konnte innerhalb der Zäune eine erhebliche Zunahme der Halmzahlen festgestellt werden (im Mittel der vier Parzellen um das 1,9-fache). Dabei wuchsen viele der neuen Halme auf zuvor schilffreien Fläche, auch die Bülten innerhalb der Käfige vergrößerten sich deutlich.

KLÖTZLI (1971, 1974) sowie KLÖTZLI und ZÜST (1973a, b) sprechen sich ebenfalls positiv über die Wirkung von Zäunen aus. In den 1966/67 bzw. 1967/68 errichteten Anlagen in Altenrhein am Bodensee-Obersee stellten sie eine erhöhte Produktion und Dichte (Anzahl Halme/m²) fest. Diese Zäune umschließen rechteckige Flächen von etwa 4 auf 15 m (Längsrichtung senkrecht zur Uferlinie). Sie wurden paarweise in einer rasch zurückgehenden Schilffront, bzw. in einer bereits schilffreien Fläche errichtet. Je ein Gehege wurde mit einem Drahtnetz auch gegen oben abgeschlossen, um den Einfluß der Wasservögel zu beobachten. Auf das Gedeihen des Schilfes innerhalb der Käfige hatten die Vögel keinen sichtbaren Einfluß. Sie erhöhten jedoch den Nährstoffeintrag ("Guanotrophierung"). Gegen die freie Seefläche wurde jedem der vier Gehege in etwa einem Meter Abstand ein weiterer, ungefähr halbkreisförmiger Zaun in gleicher Bauweise vorgelagert. Die Konstruktionen bestehen aus Gasrohren und Maschendraht; eine Verankerung mit Drahtseilen gegen die Seeseite erwies sich im Nachhinein als unnötig, da die Käfige nach wie vor aufrecht stehen, obwohl mittlerweile durch Erosion diese Anker zu einem großen Teil frei liegen und einige der Kabel durchgerostet sind. Heute (1987) ist die Wirkung der Umzäunung für jeden Beobachter offensichtlich: In den umschlossenen Flächen stehen Röhrichtinseln in einem weitgehend schilffreien Umfeld. Bemerkenswerterweise vermochte sich das Schilf auch in dem Raum zwischen dem vorgelagerten Schutzzaun und dem eigentlichen Käfig zu halten. Auch wenn man in Rechnung stellt, daß in der näheren Umgebung der Zäune der Röhrichtrückgang durch die Bau- und Forschungsaktivitäten möglicherweise beschleunigt wurde und daß sich eventuell zwischen den beiden Käfigen eines Paares vermehrt Treibzeug angesammelt hat, verdankt das Schilf sein Überleben innerhalb der Käfige diesen Anlagen, denn zwischen den beiden Käfigpaaren liegen etwa 100 m, wo sich überall das selbe Bild zeigt: das ganze Gebiet ist frei von echtem Röhricht. Die obgenannten Einwirkungen blieben dagegen auf die nähere Umgebung der Käfige beschränkt.

Trotz der genannten Beispiele günstiger Wirkungen von Zäunen darf man sich nicht der Illusion hingeben, mit der Errichtung eines Zaunes könne man den Rückgang eines Schilfbestandes garantiert aufhalten. Krankheiten, Insek-

tenbefall, Frostschäden u.a.m. können mit dem Einzäunen nicht verhindert werden. Ist das Schilf bereits so stark geschwächt, daß bereits Wellenschlag und Wind ohne Treibzeug Schäden verursachen, so bietet ein Zaun natürlich keinen hinreichenden Schutz. Auch zur Bekämpfung der Erosion ist ein Zaun nicht geeignet.

Da einfache Zäune im Vergleich zu anderen Maßnahmen nicht nur billig sind, sondern als weiteren Vorteil gegenüber bestimmten anderen Bauten die freie Zirkulation des Wassers nicht behindern, sollte als erste Schutzmaßnahme eine einfache Einzäunung des Bestandes vorgesehen werden, außer natürlich dort, wo festgestellte Ursachen des Rückganges dagegen sprechen. Aus der Beobachtung des Röhrichts folgt dann das weitere Vorgehen (weitere Flächen einzäunen, massive Bauten als Wellenbrecher, andere Maßnahmen).

Die Anordnung der Zäune richtet sich nach Art und Richtung des bekannten oder vermuteten Angriffs auf das Schilf. In vielen Fällen wird eine seeseitige Abschrankung genügen. Dabei müssen die Enden besonders sorgfältig ausgebildet werden, damit der Zaun vom Treibzeug nicht "umfahren" wird. Dazu muß der Zaun an beiden Enden abgeschlossen oder in das Ufer eingebunden werden. Treffen die Wellen in einem schiefen Winkel auf den Zaun, so wird das Treibgut, das sich nicht im Zaun verfängt, entlang dem Hag verfrachtet und irgendwo abgelagert: der Zaun muß daher so geplant werden, daß dies an einem unschädlichen Ort geschieht, von wo das Schwemmgut möglichst einfach laufend entfernt werden kann.

Zum Schutz gegen Betreten muß der Bestand eventuell auch landseitig abgezäunt werden. Bilden die Wasservögel eine ernste Bedrohung, so muß der Bestand allseitig und auch gegen oben (!) abgeschlossen werden, die Wasserfläche zwischen Zaun und Schilf wirkt sonst für die Vögel eher anziehend (BURNAND 1982 und 1986 mdl.). Zur Abdeckung gegen oben kann beispielsweise ein Rebnetz verwendet werden.

Da ein Zaun trotz seiner Durchlässigkeit einen nicht zu unterschätzenden Eingriff in das Seeufer bedeutet, ist es, wie übrigens auch für alle anderen Maßnahmen, von entscheidender Wichtigkeit, daß schon bei der Planung alle interessierten Kreise begrüßt werden. Besonders wichtig ist die Zusammenarbeit mit den Ornithologen und dem Fischereiaufseher (s. weiter unten). Aber auch die breitere Öffentlichkeit muß über das Vorhaben informiert werden und den Maßnahmen einigermaßen zustimmen, denn gegen böswillige Zerstörung lassen sich Schilfzäune kaum wirkungsvoll schützen. Dabei dürfte es günstig sein, vor allem die Funktion des Zaunes gegen das Geschwemmsel in den Vordergrund zu stellen, die Schutzwirkung gegen Betreten und Befah-

ren dagegen im Hintergrund zu halten. Die Mithilfe Freiwilliger aus der Bevölkerung oder den lokalen Vereinen beim Bau ist anzustreben, da sich dann wenigstens ein Teil der Anwohner stärker mit der Anlage identifiziert. Diese Mitarbeit muß allerdings angemessen entschädigt werden, denn es geht nicht an, daß Arbeiten für den Schutz der Natur auf Kosten einiger Idealisten ausgeführt werden, während die öffentliche Hand oft Millionenbeträge für Bauten und Anlagen bereitstellt, welche Natur und Umwelt schädigen.

Für die **technische Ausführung** können hier nur ein paar allgemeine Hinweise gegeben werden, da sich diese nach dem Standort, der geplanten Lebensdauer und den verfügbaren Mitteln richten muß. Günstig ist es, wenn ein erfahrener Praktiker oder ein ortskundiges Wasserbauunternehmen zur Mitarbeit beigezogen werden kann. Die Höhe des Zaunes richtet sich nach den höchsten zu erwartenden Wasserständen und Wellenhöhen. Da im flacheren Wasser die Höhe des Wellenberges bedeutend größer ist als die Absenkung des Wellentals (d.h. die Welle erhebt sich bei abnehmender Wassertiefe mehr und mehr über den Ruhewasserspiegel), sollte vorsichtigerweise zum Höchstwasserstand die gesamte zu erwartende Wellenhöhe zugezählt werden. Dazu kommt noch ein angemessenes Freibord, welches je nach Art und Beschaffenheit des Treibgutes etwa 30 - 60 cm betragen sollte. Steht der Zaun ständig in tieferem Wasser, so muß er unter Umständen nicht bis auf den Seegrund hinuntergezogen werden. Im Minimum sollte er aber bis zum tiefsten Wasserstand, dazu die halbe maximale Wellenhöhe für diese Wassertiefe und noch weitere 50 cm oder mehr (wegen des unter der Wasseroberfläche schwebenden Treibzeugs) hinunterreichen, mit anderen Worten, der Zaun sollte beim tiefsten Wasserstand beim Durchgang des Wellentals der größten Wellen noch mindesten 50 cm unter die Wasseroberfläche reichen.

Die Pfosten können aus Holz oder Metall bestehen. Metallpfosten haben den Vorteil, daß sie wegen ihres geringeren Durchmessers den Wellen weniger Angriffsfläche bieten. Auch ist ihre Lebensdauer bei gutem Korrosionsschutz größer. Dagegen müssen sie zur Verankerung im Seegrund entweder in Zementsockel eingegossen werden oder ihre unterirdische Fläche muß durch angeschweißte Bleche vergrößert werden. Für Holzpfosten kann (als grobe Faustregel) der Durchmesser von 1/10 bis 1/15 der Höhe über Grund gewählt werden, je nach Stärke des Wellenangriffs. Die Einschlagtiefe der Pfähle hängt von der Beschaffenheit des Untergrundes ab und muß von einem ortskundigen Fachmann bestimmt werden. Sie kann bei ungünstigeren Verhältnissen die Höhe über Grund übertreffen. Die Pfosten halten länger, wenn sie oben mit Blech (alte Konservendosen o.ä.) abgedeckt werden.

Der eigentliche Zaun wird aus Diagonalmaschendraht oder einem sehr soliden Kunststoffnetz gefertigt. Die Maschenweite sollte einerseits möglichst klein sein (Abhalten von Algen, Festigkeit), andererseits setzen Finanzen und Durchlässigkeit eine untere Grenze. Die von GLOOR (1975) verwendete Maschenweite von 4 cm dürfte in den meisten Fällen einen guten Kompromiß darstellen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Abschrankung als Flechtzaun auszubilden. Flechtzäune wirken jedoch in stärkerem Maße auch auf die Wellen ein, weshalb diese Lösung in Kap. 2.5. unter den Wellendämpfern beschrieben wird.

Als weiterer Gesichtspunkt ist zu beachten, daß der Zaun von den Fischen entweder ohne Gefahr durchschwommen werden kann oder von ihnen als Hindernis wahrgenommen wird. Im zweiten Fall muß der Zaun eventuell mit Durchlässen versehen werden oder die Abzäunung darf nur einzelne Parzellen umfassen, damit das Röhricht mindestens teilweise noch als Laichplatz zur Verfügung steht. Bei der Gestaltung von Durchlässen ist darauf zu achten, daß sie nicht auch dem Treibzeug als Weg in das Röhricht dienen können. Eine Möglichkeit ist ein vorgelagerter Zaun, welcher die Öffnung beidseitig auf einer genügenden Länge überdeckt. Bei diesen Fragen ist die Mitarbeit des Fischereivertreters ebenso notwendig, wie bei der Berücksichtigung oder Ablösung allfälliger bestehender Rechte (z.B. Reusenstandorte).

An der Qualität des Maschendrahtes sollte nicht gespart werden, und zwar nicht nur wegen der geringeren Reparaturanfälligkeit, sondern auch aus Sicherheitsgründen: Versagt einer der Pfosten, so wird er durch ein intaktes Drahtgeflecht genügender Qualität wenigstens solange am Ort gehalten, bis die Reparatur ausgeführt werden kann. Die bereits erwähnten Gitter von GLOOR (1975) bestanden aus aus verzinktem Eisendraht mit einer Dicke von 1,1 - 2 mm.

Entscheidend ist bei Schilfschutzzäunen eine **periodische Kontrolle**, besonders nach schweren Unwettern. Beschädigungen müssen möglichst sofort repariert werden. Auch das Treibzeug, das sich im Zaun verfangen hat, muß baldmöglichst beseitigt werden, da sonst einer der Hauptvorzüge eines Zaunes, die geringe Angriffsfläche für den Wellenschlag, dahinfällt und mit schwerwiegender Beschädigung oder gar Zerstörung des Zaunes gerechnet werden muß. Auch das durch den Zaun eventuell an ein anderes Uferstück verfrachtete Getreibsel darf nicht vergessen werden.

2.4. BEWEGLICHE KONSTRUKTIONEN OHNE NENNENSWERTE DÄMPFUNG DER WELLEN

2.4.1. Allgemeines

Bewegliche (schwimmende) Konstruktionen haben dort einen Sinn, wo der Wasserstand in größerem Maße schwankt, wie z.B. am Bodensee, wo der Schwankungsbereich etwa drei Meter beträgt. Diese Einbauten sollen ebenso wie die Zäune möglichst viel Treibzeug vom Schilf fernhalten. In der Praxis wurden solche Konstruktionen, bei denen es sich meist um schwimmende Balken oder Baumstämme handelt, oft als "Wellenbrecher" bezeichnet, offenbar in der Annahme einer entsprechenden Wirkung. Es muß hier mit aller Deutlichkeit festgehalten werden, daß solche Schwimmbalken Wind- und Schiffs- wellen nicht zu dämpfen vermögen, außer es handle sich um ganz kleine (weniger als etwa 1 m lange) Wellen. Gerade die Unterdrückung der kleinen und kleinsten Wellen hat allerdings einen starken optischen Effekt und läßt die Wasseroberfläche hinter dem Balken viel glätter erscheinen als jene davor, weshalb ein Beobachter den Dämpfungseffekt des Schwimmbalkens leicht überschätzt.

Die folgende, einfache Modellüberlegung möge die obige Aussage veranschaulichen: Nehmen wir an, der Querschnitt des Schwimmbalken sei ein Quadrat mit 30 cm Seitenlänge (was einem Rundholz von nicht ganz 35 cm Durchmesser entspricht), so taucht er je nach Dichte des Holzes ungefähr 20 cm tief ein. Bei einem Meter Wassertiefe wird also der Durchflußquerschnitt für das unter dem Balken durchströmende Wasser um maximal 20 % eingeengt, bei größerer Tiefe entsprechend noch weniger. Eine so kleine Verengung bewirkt für das durchströmende Wasser nur einen ganz kleinen Energieverlust, besonders dann, wenn Verengung und anschließende Erweiterung des Fließquerschnittes allmählich erfolgen, wie dies bei einem Rundholz der Fall ist. Wir haben bei dieser Überlegung stillschweigend vorausgesetzt, daß die Strömung des Wassers über den ganzen Durchflußquerschnitt, das heißt über die ganze Wassertiefe gleichmäßig verteilt sei. Diese Annahme trifft umso mehr zu, je länger die Wellen im Vergleich zur Wassertiefe sind. Da auch bei kleineren Seen und schwächeren Winden schon bald einmal mit drei bis vier Meter langen Wellen zu rechnen ist befinden wir uns mit einem Meter Wassertiefe schon im Übergangsbereich, wo die Orbitalgeschwindigkeit der Wasserteilchen nach unten zwar abnimmt, aber doch über die ganze Wassertiefe bis zum Grund noch ausgeprägt vorhanden ist. Eine Dämpfung kann erst

dann festgestellt werden, wenn die Wellen so kurz sind, daß ein erheblicher Teil der von ihnen bewegten Zone (ungefähr eine halbe Wellenlänge nach unten) durch den eingetauchten Teil des Holzes gestört wird. Ist der Schwimmbalken in waagrechter Richtung ebenfalls beweglich (Kettenverankerung), so behindert er die Wellen allein aufgrund seiner Ausdehnung und Trägheit. Da die Dichte des Holzes kleiner als jene des Wassers ist, muß das Holzvolumen mindestens so groß sein wie das entsprechende, bewegte Wasservolumen, damit die Trägheit des Balkens überhaupt ins Gewicht fällt. Die Ausdehnung eines Schwimmkörpers hat dann eine Wirkung, wenn sie, in Laufrichtung der Wellen gemessen, vergleichbar mit der Wellenlänge ist. So besitzen schwimmende Hafenmolen denn auch eine Breite von drei bis vier Metern und einen Tiefgang von etwa zwei Metern und bewirken damit eine Reduktion der Wellenhöhen um etwa 85 %. Selbst mit Berücksichtigung der bei Schilffeldern meist kleineren Wassertiefe und der geringeren Anforderungen an die Dämpfungswirkung wird hier doch eine Diskrepanz der Größenordnungen im Vergleich zu einem Schwimmbalken offensichtlich.

Für Schwimmkonstruktionen, die in erster Linie als Abgrenzung oder Einzäunung dienen, ist der geringe bis verschwindende Einfluß auf die Wellen von Vorteil, da so die Beanspruchungen in einem Rahmen bleiben, der eine verhältnismäßig einfache Ausführung erlaubt.

2.4.2. Schwimmbalken

Schwimmbalken für den Schilfschutz wurden schon an verschiedenen Orten verwendet (Havel, West-Berlin, Zürichsee, Greifensee u.a.), wobei man sich vielleicht über deren Wirkung nicht immer ganz im klaren war.

Dies gilt sicher nicht für SUKOPP (1973), der an den Berliner Havel-Seen ziemlich aufwendige (DM 100.- pro Laufmeter i. J. 1970), dafür auch dauerhafte Schwimmbalken installierte. Ausdrücklich bezeichnete er sie als "Röhrichtsperre" (reed-fence), und zwar in erster Linie gegen Boote und Treibzeug. Als Schwimmkörper verwendete er 25 cm dicke Rundhölzer, auf deren Enden je ein U-förmig gebogenes Winkeleisen geschraubt wurde (Fig. 2.1.). Um das Biegen möglich zu machen, war im Bereich der starken Krümmung der abstehende Schenkel dieser Winkeleisen entfernt worden. Die so entstandenen Manschetten dienten der Befestigung an rund sechs Meter langen, vertikalen Stahlrohrpfosten, welche etwa zwei Meter tief in den Grund gerammt wurden. An jedem Pfosten wurden zwei Schwimmkörper befestigt, so daß eine lückenlose Reihe entstand. Die Länge der Schwimmer betrug zwischen den

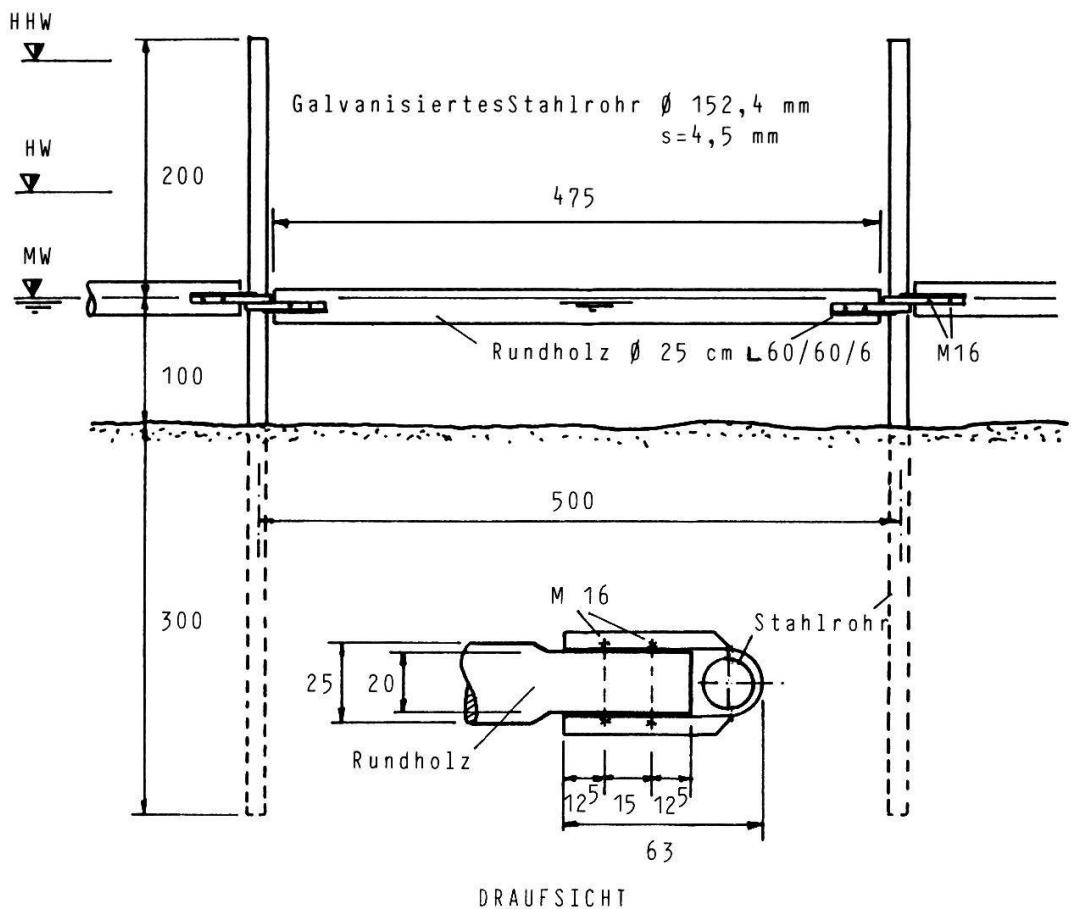


Fig. 2.1. Schwimmbalken als "Röhrichtsperrre" nach SUKOPP (1973).

Mittelpunkten der beiden Manschetten fünf Meter, d.h. die Pfosten konnten in einem Abstand von fünf Metern eingerammt werden. Die Pfosten sind etwas dünner als die Schwimmbalken, so daß sie innerhalb der Manschetten genügend Spiel haben, um die freie Bewegung der Schwimmer zu gewährleisten. Die Wassertiefe beträgt bei Mittelwasser etwa einen Meter, beim mittleren Hochwasser etwa 1,8 m und im Fall des maximalen Hochwassers rund 2,8 m. Als weitere Möglichkeit kann man in kürzeren Abständen (Holz-)Pfosten je paarweise einschlagen und den Schwimmbalken dazwischen legen. Dazu ist noch eine Fixierung in der Längsrichtung des Balkens nötig. Die waagrechte Bewegung des Balkens bleibt bei beiden Lösungen minim, so daß wenigstens die kleinen Wellen etwas gedämpft werden.

Die dritte Möglichkeit, die Balken einzig mit Ketten am Seegrund zu verankern, ist weniger zu empfehlen, da der Schwimmer dann innerhalb des Kettenradius' frei beweglich bleibt, einzig das Gewicht der Kette wirkt der Bewe-

gung etwas entgegen. Da der Höchstwasserstand berücksichtigt werden muß, kann die Länge der Kette (und damit der Bewegungsradius) nicht zu knapp bemessen werden. Bei weichem Untergrund wie z.B. Seekreide ist auch die Verankerung nicht einfach: Am Greifensee als Anker verwendete Bojensteine erwiesen sich als zu leicht, sie wurden während eines heftigen Sturmes um mehrere Meter landwärts verschoben.

Wie bei den Zäunen ist auch bei den Schwimmbalken an den Enden der zu schützenden Strecke auf gute Einbindung in das Ufer zu achten, um bei allen Windrichtungen die Wirksamkeit des Hindernisses zu gewährleisten. Angesammeltes Treibzeug sollte sofort entfernt werden, da ein Schwimmbalken wegen seines bescheidenen Tiefgangs und Freibords für das Treibzeug auf die Dauer keine wirksame Sperre bildet. Diese Wirksamkeit kann man verbessern, indem man das Freibord vergrößert, etwa durch ein leichtes, aber genügend festes Kunststoffrohr mit ungefähr demselben Durchmesser, welches mit eisernen Briden auf der Oberseite des Schwimmbalkens befestigt wird. Dabei ist es wichtig, daß diese Konstruktion nicht kippen kann, sonst ist der beabsichtigte Effekt dahin. Diese Bedingung ist bei den beiden ersten der obgenannten Befestigungsarten dann erfüllt, wenn das freie Spiel in den Führungen so knapp wie möglich bemessen ist; die freie Auf- und Abbewegung sowie ein gewisses Verkanten müssen aber gewährleistet bleiben.

2.4.3. "Modell Altenrhein"

Der Ortsbürgergemeinde Altenrhein (SG) am Bodensee ist es zu verdanken, daß hier eine modifizierte Schwimmbalkenkonstruktion errichtet werden konnte, obwohl das System bisher noch nirgends in dieser Art angewendet worden war. Nach eigenen Modellversuchen an der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich und einem Pilotversuch in Triboltingen TG am Bodensee-Untersee war das Prinzip zwar einigermaßen klar. Erst dieser Großversuch in Altenrhein wird jedoch in einigen Jahren eine abschließende Beurteilung erlauben. Immerhin hat diese Anlage, deren Bau im Winter 1983/84 begonnen wurde, bis jetzt den Beanspruchungen standgehalten. Einzig die Rohrschellen der ersten Etappe mußten im folgenden Jahr ausgewechselt werden, da die Lieferfirma eine zu schwache Ausführung geliefert hatte (4 mm Blech statt 6 mm gewalzt; vgl. die nachfolgende Beschreibung). Im Gegensatz zum Triboltinger Versuch konnte hier die Anlage aus Metall hergestellt werden, was nicht nur die Dauerhaftigkeit erhöht, sondern wegen

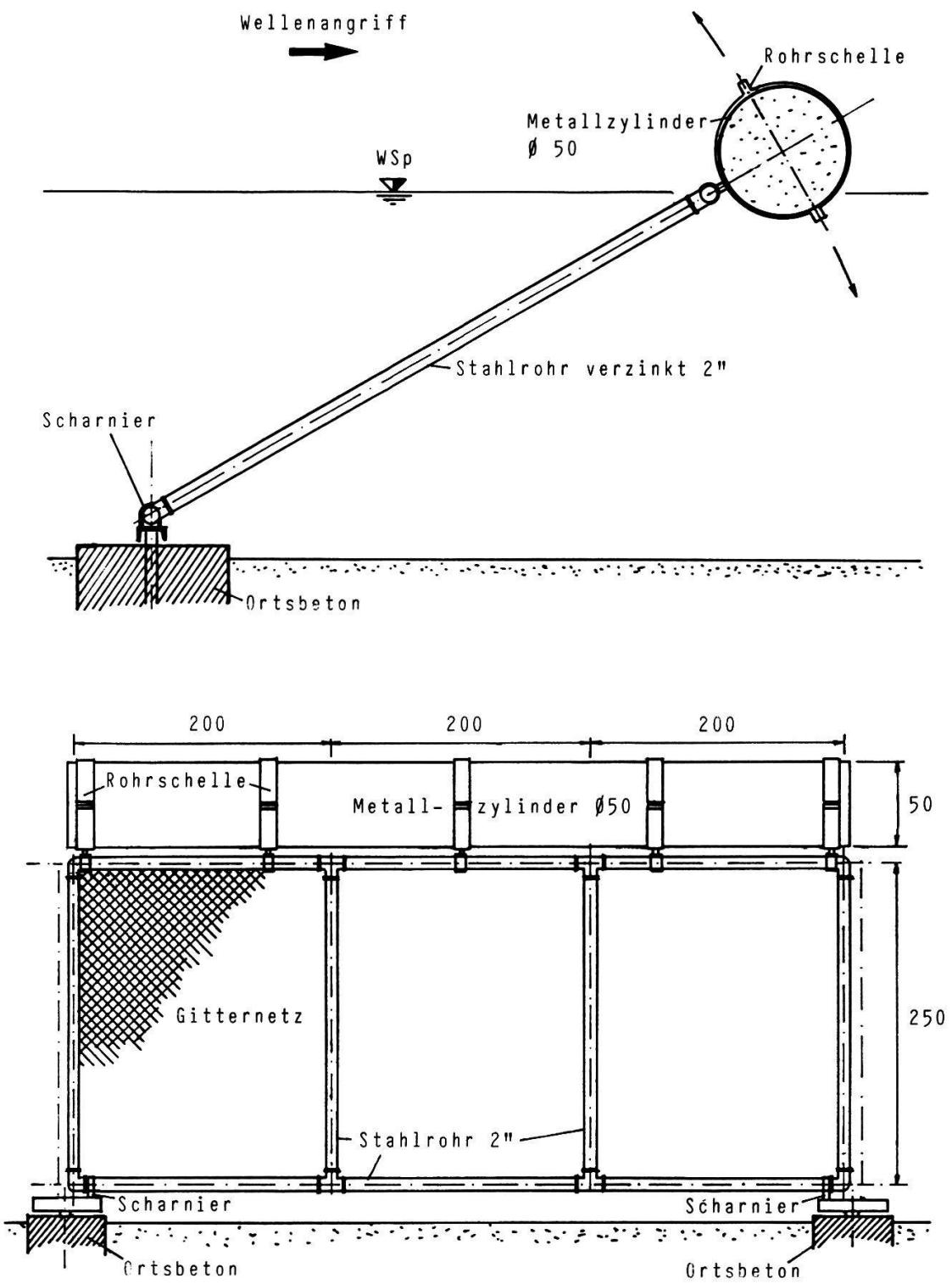


Fig. 2.2. Schwimmende Röhrichtsperrre in Altenrhein SG. Lage und Anordnung sind im Situationsplan, Teil III, Fig. 3.6., unter der Bezeichnung "Schutzhag" eingezeichnet.
 Oben: Querschnitt
 Unten: Ansicht eines Elementes

der geringeren Flexibilität auch einen gewissen bescheidenen Dämpfungseffekt auf die Wellen erwarten lässt (in günstigen Fällen bis maximal etwa 20 % der Energie).

Der eigentliche Schwimmkörper besteht aus einem beidseitig verschlossenen Metallzylinder von 50 cm Durchmesser und 6 m Länge pro Element (Fig. 2.2.). Dieser Zylinder wurde innen ausgeschäumt, damit er auch nach einer allfälligen Beschädigung noch schwimmt. Dieser Schwimmkörper ist an einem Rahmen aus 2"-Rohren von 6 m Länge und 2,5 m Breite befestigt und durch diesen Rahmen mit dem Seegrund verbunden. Der Rahmen wird durch zwei Streben in drei gleich große Felder unterteilt, welche von einem Gitter (Armierungsnetz) überspannt werden. Die Befestigung am Seegrund besteht aus Scharnieren, welche in Betonklötze von 850 kg Masse eingelassen sind. Der Rahmen ist also drehbar und erlaubt dem Schwimmer, den wechselnden Wasserständen zu folgen. Im Gegensatz zu einem mit Ketten verankerten Körper ist er jedoch nicht innerhalb des ganzen Radius' der Verankerung frei beweglich, sondern seine Bewegung liegt genau auf dem Halbkreis mit 2,5 m Radius um den Verankerungspunkt. Das Gitter über dem Rahmen soll das Treibzeug auch unter Wasser abhalten.

Aneinander gereiht ermöglichen viele solche Elemente die Herstellung eines geschlossenen Zauns von beliebiger Ausdehnung. Allerdings entstehen bei Richtungsänderungen kleine Lücken, die allenfalls mit einem Netz o. ä. geschlossen werden können.

Da der See an dieser Stelle nie tiefer als etwa 2 m ist, steht der Rahmen nie senkrecht, er bleibt ständig landwärts geneigt. Außer wenn er waagrecht auf dem Seegrund liegt, ist daher jedes Anheben des Schwimmers mit einer mehr oder weniger starken Bewegungskomponente seewärts verbunden, entsprechend bedingt ein landwärtiges Ausweichen ein tieferes Eintauchen. Die mögliche Bewegungsrichtung des Schwimmers steht damit im Gegensatz zur Orbitalbewegung im anlaufenden Wellenberg (landwärts-aufwärts), wodurch die oben erwähnte, geringe Wellendämpfung entsteht.

Für den Bau einer 500 m langen Anlage zur Abgrenzung des Schilffeldes Altenrhein gegen das offene Wasser wurden 76 Helikoptereinsätze geflogen, die Kosten beliefen sich auf Fr. 554.- pro Laufmeter.

2.5. WELLENDÄMPFER ODER WELLENBRECHER

Im Gegensatz zu den bisher beschrieben Maßnahmen sind Wellendämpfer in jedem Falle massive Bauwerke, die nicht nur entsprechend teuer sind, sondern auch einen starken Eingriff in das Seeufer bedeuten. In ihrer technischen Ausführung unterscheiden sie sich nicht von anderen derartigen Bauwerken wie Hafenmolen u. ä.. Der einzige Unterschied ist der, daß man sich bei Wellendämpfern zum Schilfschutz mit einem geringeren Dämpfungsgrad zufrieden geben kann als etwa für einen Bootshafen. Dadurch können je nach System die Abmessungen reduziert werden.

In Frage kommen folgende Typen (SCHAAD 1980):

- Geschlossene Molen (Dämme, Mauern, Palisaden)
- Tauchwand
- Schwimm-Mole.

Jeder dieser Typen hat seine Vor- und Nachteile, die sich je nach örtlichen Verhältnissen unterschiedlich auswirken. Für die Praxis des Schilfschutzes dürften vorwiegend Konstruktionen des ersten Typs in Frage kommen (Blockschrüttungen, Palisaden, Flechtzäune), denn sie lassen sich vergleichsweise billig herstellen.

Sollen die Anlagen wirksam sein, so müssen sie mindestens bis zum Wasserspiegel reichen, da bei zunehmender Überflutungshöhe der Wirkungsgrad sehr rasch abnimmt. Bei stark schwankenden Seeständen kann dies zu Schwierigkeiten führen, da bei niedrigem Wasserstand ein Bauwerk mit beträchtlichen Abmessungen ins Auge fällt. Andererseits wird oft die Auflage gemacht, daß derartige Bauten möglichst unsichtbar sein sollten. Weitere Auswirkungen geschlossener Molen sind meist noch bedeutender: Zwischen die Seeufervegetation und das offene Wasser wird ein mehr oder weniger unüberwindlicher Riegel gestellt. So entsteht dahinter in der Regel eine flache, sich selbst eutrophierende Lagune, wenn nicht durch entsprechende Anordnung für eine Verbindung zum See gesorgt und der Wasseraustausch gewährleistet wird. Öffnungen in der Mole bergen auf der andern Seite die Gefahr, daß sich im Stillwasserbereich unerwünschte Sedimente ablagnern, die unter ungünstigen Verhältnissen die Vegetation ersticken können. Da die Sedimentströme an einem Seeufer meist komplexen, unbekannten Gesetzmäßigkeiten folgen, ist die Auswirkung eines Eingriffs kaum vorhersagbar, man kommt daher um Versuche an Ort und Stelle kaum herum, d.h. ein etappenweises Vorgehen ist notwendig.

Öffnungen oder Unterbrüche in einer Mole sind selbstverständlich so anzu-

ordnen, daß die Wellen nicht in den geschützten Bereich einlaufen können. Dabei muß auch die Diffraktion der Wellen (seitliche Ausbreitung nach einem Hindernis) berücksichtigt werden. Diese Diffraktion ist abhängig von der Größe der Wellen im Verhältnis zur Öffnung und den übrigen geometrischen Abmessungen. Bilder, die einen Anhaltspunkt über die zu erwartende Ausbreitung der Wellen geben finden sich in der Literatur des Küsten- und Seewasserbaus, z.B. in PRESS und SCHRÖDER (1966).

Wird die Mole als **Blockwurf** geschüttet, so ist der Böschungswinkel abhängig von der Größe der Blöcke und dem Wellenangriff. Gute Anhaltspunkte lassen sich aus ähnlich exponierten, nahe gelegenen natürlichen oder künstlichen Steilufern gewinnen. Bei feinkörnigem Seegrund ist auf eine gute Abstufung der Korndurchmesser zwischen dem Untergrund und den Blöcken zu achten (Filterkriterien), damit die Blöcke nicht allmählich im Boden versinken.

Palisaden sind nur bei geringer Wassertiefe wirtschaftlich, etwa 1 - 1,5 m, da die notwendigen Pfahldurchmesser überproportional zur Höhe zunehmen. Dasselbe gilt für den Preis der Pfähle in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser. Werden die Pfähle in einer Reihe mit einem Zwischenraum von etwa 5 - 10 % des Pfahldurchmessers geschlagen, so beträgt der Pfahldurchmesser bei einer Wassertiefe von einem Meter rund 15 cm, wenn die davor liegende Wasserfläche so groß ist, daß die maximale Wellenhöhe durch das Bruchkriterium begrenzt wird, also etwa 80 cm beträgt.

Auch **Flechtzäune** sind nur bei geringeren Wassertiefen sinnvoll. Der Pfahlabstand (Zwischenraum) beträgt hier etwa das Drei- bis Vierfache des Pfahldurchmessers, bei zweireihiger Anordnung entsprechend mehr (s. Fig. 2.3.). Zwischen die Pfähle werden Weiden- oder Erlenäste entsprechender Stärke geflochten. Die Zweige dieser Äste sollen nicht entfernt werden, damit das Geflecht möglichst dicht wird. Neue Ausschläge bei lebendem Material verstärken die Wirkung. Ebenso können neben den (toten) Stützpfosten ausschlagfähige Weidenpfosten eingegraben werden, deren Triebe mit der Zeit ähnlich wie das Geflecht wirken. Allerdings ist ein Weidengürtel vor einem echten Röhricht auf die Dauer weder lebensfähig noch sinnvoll. Auch bei der Verwendung von zum Teil lebendem Material bleibt daher die Lebensdauer solcher Bauwerke beschränkt und steter Unterhalt eine Notwendigkeit.

Flechtzäune aus mehrheitlich lebendem Material sind besonders zur Sicherung höher gelegener Partien sinnvoll.

Da das Geäst nachgiebig bleibt, werden die Schläge der Wellen weniger hart, was die Beanspruchungsspitzen wesentlich verringert. Auch die (beschränkte)

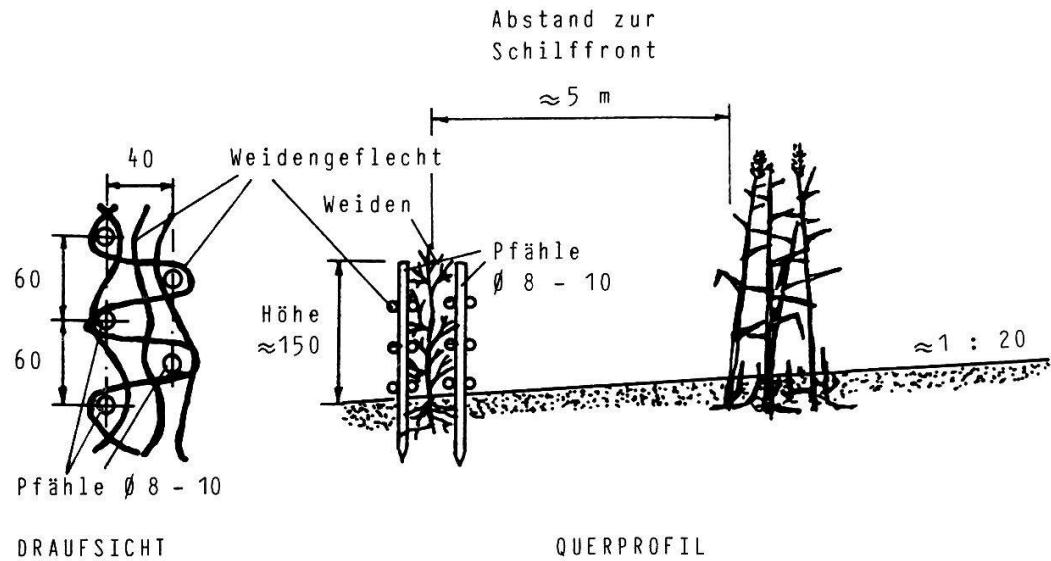


Fig. 2.3. Doppelreihiger Flechtzaun für das Schilfgebiet an der Seefelder Aachmündung. (Ausführung WASSERWIRTSCHAFTSAMT RAVENSBURG 1988, Fig. nach DITTRICH und WESTRICH 1988)

Durchlässigkeit des Flechtwerkes wirkt sich günstig in dieser Hinsicht aus. Trotzdem dürfen die Beanspruchungen bei Sturm nicht unterschätzt werden, da das Geäst auch dann, wenn es nicht von Algen verhangen wird, den Wellen eine beträchtliche Angriffsfläche bietet, worauf andererseits der Dämpfungs-Effekt beruht.

Am Bodensee-Obersee wurden verschiedene Arten von Flechtzäunen installiert (DITTRICH und WESTRICH 1988), darunter auch das in Fig. 2.3. gezeigte Beispiel.

MORET (1979, 1980, 1981, 1982) konnte während mehrerer Jahre die Auswirkungen von Wellenbrechern (Blockschüttungen) im Genfersee bei Les Grangettes (in der Nähe der Rhône-Mündung) untersuchen. Die Bauten wurden dabei immer wieder den neuen Erkenntnissen angepaßt. MORET gelangt im ganzen zu einer positiven Beurteilung, wenn auch die Befunde nicht immer leicht zu interpretieren waren und Probleme nicht ausblieben, namentlich unerwünschte Ablagerungen von Sediment in einzelnen Schilfflächen.

Es bedarf wohl kaum eines speziellen Hinweises, daß Wellenbrecher nur dort erfolgreich sein können, wo die Wellenbelastung maßgeblich zum Verschwinden des Schilfs beiträgt.

2.6. EROSIONSSCHUTZ

Der Erosionsschutz ist eines der schwierigsten Probleme von Gewässerufern: es können hier deshalb nur ein paar ganz allgemeine Hinweise gegeben werden. Seeufer, sofern sie nicht gerade aus Fels bestehen, sind von Natur aus dynamische Gebilde, die steter Veränderung unterworfen sind. Herrschen während längerer Zeit gleiche Bedingungen, so bildet sich ein mehr oder weniger stabiles Gleichgewicht zwischen Abtrag und Auflandung heraus. Generell werden allerdings die Seen im Laufe der Zeit immer kleiner und verschwinden schließlich ganz, da sie von den einmündenden Flüssen und Bächen mit Geschiebe und Schwebstoffen aufgefüllt werden. Bei geringer Wassertiefe, z.B. auf der flachen Uferbank, unterstützt auch die Vegetation die Verlandung, und zwar einerseits, indem im ruhigen Wasser zwischen den Pflanzen vermehrt Sediment abgelagert wird und andererseits durch ihre eigene Biomasse, die nach dem Absterben an Ort und Stelle abgelagert wird und sich mit der Zeit in Torf umwandelt.

In diese Prozesse stetiger Veränderungen greift der Mensch ein mit seinem Wunsch, einen momentanen Zustand festzuhalten. Dies ist dort einfach möglich, wo sich ein Gleichgewichtszustand gebildet hat, aufwendig und schwierig bis fast unmöglich dort, wo sich dieser Gleichgewichtszustand noch nicht einstellen konnte oder wo er durch menschliche Einwirkung gestört wurde. Meist sind es nur scheinbar kleine Veränderungen, die ein Ufer aus dem Gleichgewicht zu bringen vermögen und unter Umständen größere Um- schichtungen auslösen. Oft zeigen sich die Folgen eines Eingriffs an einer entfernten Stelle.

Auf einer natürlichen Uferbank ist zweifellos eine gut ausgebildete Pflanzendecke der beste Uferschutz. Eine solche Vegetation beginnt bei den Unterwasserfluren und reicht über die Schwimmblattfluren, das Röhricht bis zu den höher liegenden Seggen- und Bruchwaldzonen. Verschwinden diese Pflanzen, so ist ein Uferabtrag unvermeidlich. Auch das Umgekehrte ist möglich, daß Erosion die Vegetation verschwinden läßt. Schon HÜRLIMANN (1951) weist darauf hin, daß ein vergleichsweise kleiner Eingriff in das Rhizomgeflecht eines Schilfbestandes zu einem fast unaufhaltbaren Erosionsangriff führen kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Rhizome an einer dem Wellenschlag ausgesetzten (Graben-)Kante frei liegen. Durch die ständige Wasserbewegung werden die feinen Bodenbestandteile zwischen den Rhizomsträngen und Wurzeln herausgeschwemmt, größere freiliegende Rhizomteile werden mit der Zeit weggerissen, vor allem bei stärkerem Wellenschlag. Ist eine derartige

Erosionskante hoch genug, so wird der Röhrichtbestand richtiggehend unterspült, und es entstehen überhängende Partien, die von selbst abbrechen oder vom Sturm losgerissen werden. Besonders ungünstig ist es, wenn der Schilfbestand auf einer für das Rhizom undurchdringlichen Bodenschicht steht. Die Grenze zwischen dieser Boden- und der Rhizomschicht bietet dem Wellenangriff kaum Widerstand, wenn sie einmal frei liegt.

Im Flachwasser ist die Orbitalbewegung der Wasserteilchen vorwiegend horizontal, die vertikale Komponente ist zwar auch vorhanden, jedoch von bedeutend geringerem Betrag. Eine Erosionskante stellt sich damit der Orbitalbewegung quer in den Weg und wird vom bewegten Wasser mit voller Wucht getroffen. Da der Rhizomfilz nahe der Bodenoberfläche am dichtesten ist, werden vorerst die tiefer liegenden Partien abgetragen. So ist es unmöglich, daß sich eine Erosionskante auf natürliche Weise selbst abflacht, es kann sich keine "günstige" Uferform neu bilden. Ist eine Erosionskante erst einmal vorhanden, so bleibt ihre Form senkrecht oder überhängend, bis der ganze Schilfbestand im Bereich des Wasserspiegels abgetragen ist.

Da Erosionsbekämpfung nichts anderes ist, als der Versuch, das Gleichgewicht zwischen Abtrag und Auflandung mit künstlichen Mitteln herzustellen, bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten dafür: Verhinderung des Abtrages oder Erhöhung des Sedimenteintrags. Diese letzte Möglichkeit ist besonders dort im Auge zu behalten, wo Feinmaterial günstig zu haben ist. Allenfalls können zur Gewinnung von Sedimentmaterial auch unerwünschte Auflandungen an anderer Stelle abgetragen werden: der Mensch schließt in dem Falle den durch den See bewirkten Massentransport zu einem Kreislauf. Ebenfalls sollte geprüft werden, ob nicht durch Umgestaltung einer nahe gelegenen Bachmündung Sedimentströme an gefährdete Stellen gelenkt werden können. In diesem Zusammenhang ist auch daran zu erinnern, daß die Unterbindung des natürlichen Feststofftransports in den Fließgewässern durch Kraftwerke oder Geschiebesammler usw. Erosion verursachen kann.

Die Verhinderung des Uferabtrages ist sehr schwierig. In vielen Fällen wird nichts anderes übrig bleiben, als mit größerem Kiesmaterial eine neue flache Böschung vor dem Bestand zu errichten oder bei Flächenerosion die Uferbank mit einer Schicht größeren Materials abzudecken. Die erstgenannte Maßnahme wurde am deutschen Ufer des Bodensee-Obersees bereits an einigen Orten angewandt (DITTRICH und WESTRICH 1988). Dabei wurde z.B. bei der Mündung des Kniebachs, Gemeinde Immenstaad, aus Kies (Moränenwacken; $d_{90} \approx 15 - 20$ cm) einige zehn Meter vor dem noch bestehenden Schilf eine Böschung bis auf einige cm über den Mittelwasserstand geschüttet. Die

seeseitige Neigung betrug etwa 1 : 6 bis 1 : 8, je nach Exposition und Wellenangriff. Der Raum hinter dieser Böschung wurde mit tonigen Seesedimenten verfüllt und mit Schilfrhizomen bepflanzt. Das Gefälle dieser Hinterfüllung betrug etwa 2% (1 : 50) (SIESSEGGER 1984). Eine ähnliche Ausführung in der Gemeinde Sipplingen verwendete für den Wall Kieselsteine mit einem Durchmesser von 6 bis 12 cm, bei einer seeseitigen Neigung von 1 : 10. Die Hinterfüllung erhielt ein Gefälle von 4 - 5 % (LANDRATSAMT BODENSEEKREIS 1988). Die Kosten dieser Maßnahmen lagen in der Größenordnung von etwa 700 - 800.-DM / Laufmeter.

Wie bei allen Schüttungen ist auch hier auf eine gute Einbindung des seeseitigen Böschungsfußes in den Untergrund und auf die Einhaltung der Filterkriterien durch einen gut abgestuften Übergang zwischen dem feinkörnigen Boden und der groben Schüttung zu achten. Der Böschungswinkel ist möglichst flach zu wählen, um der ursprünglichen, natürlichen Uferform möglichst nahe zu kommen, selbst dann, wenn die Größe der Kiesel auch eine stärkere Neigung erlauben würde. Wenn sich der Schilfbestand nicht (mehr) bis zur Erosionkante erstreckt, ist es zur Materialersparnis oft zweckmäßig, den Ausgleich einer Erosionskante teils durch Anschüttung (Seeseite), teils durch Aushub (Landseite) zu bewerkstelligen.

Das flächenhafte Abdecken mit einer größeren Deckschicht hat den Nachteil, eine Wiederbesiedlung dieser Flächen durch Vegetation zu erschweren, wenn nicht gar zu verunmöglichen, denn die meisten Ufer- und Wasserpflanzen bevorzugen einen feinkörnigen Untergrund. Allenfalls muß die erodierende Fläche mit gesunden und robusten Schilfrhizomen bepflanzt werden, bevor sie mit Kies überschüttet wird. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die erforderliche Kiesschicht ziemlich dünn gehalten werden kann.

Treffen die Wellen hauptsächlich in einem schiefen Winkel auf das Ufer, so wird bewegliches Sohlenmaterial parallel zur Uferlinie verfrachtet (vgl. Teil I, Kap. 2.2.). Dieser Sedimenttransport kann durch Buhnen (Sperrbauwerke senkrecht zur Uferlinie) unterbunden werden. Diese Buhnen lassen sich auf verschiedene Weise ausführen: Flechtzäune, Palisaden, Spundwände oder Blockwurf; die Wahl des Typs richtet sich nach der Größe des Gewässers, dem Wellenangriff und den verfügbaren Materialien. Da diese Buhnen nicht als Wellenbrecher wirken müssen, ist es nicht immer nötig, sie bis an oder über den Wasserspiegel heraufzuziehen. Es ist zu beachten, daß die Unterbindung des Sedimentstroms längs des Ufers unter Umständen die Tendenz zur Erosion in den leewärts anschließenden Partien verstärkt.

2.7. BESEITIGUNG VON UFERMAUERN

Die schädliche Wirkung von Ufermauern wurde bereits im Teil I (Kap. 2.2.) besprochen. Der Abbruch einer Mauer hinter einem Schilfbestand kann daher auch eine wertvolle Maßnahme zum Schilfschutz sein. Der Nachteil davon ist, daß das seinerzeit mit dem Mauerbau gewonnene Land zumindest teilweise wieder geopfert werden muß. Da viele bestehende Ufermauern durch zunehmende Unterspülung (nicht zuletzt als Folge des fehlenden Röhrichts) gefährdet sind, stellt sich die Frage ihres Ersatzes ohnehin früher oder später. Ob eine Ufermauer erneuert, durch einen massiven Blockwurf oder eine neue, abgeflachte Böschung ersetzt wird, kann nur nach sorgfältigem Abwägen aller Interessen entschieden werden. Da das Verständnis für die natürliche Ufervegetation heute bei vielen Seeanstößen vorhanden ist, dürften sich bei zweckmäßigem Vorgehen befriedigende Lösungen finden lassen. Dabei ist auch in Betracht zu ziehen, ob eventuell ein Teil des Schilfbestandes vorübergehend für eine neue Uferböschung geopfert werden kann, sofern die örtlichen Gegebenheiten eine Wiederbesiedlung der neuen Flächen durch das Schilf erwarten lassen.

Man muß die Frage der Ufermauern auch in einem weiteren Zusammenhang betrachten. Ist ein großer Teil des Ufers mit Mauern verbaut, so werden die noch verbleibenden, natürlichen Strecken von den Wellen umso stärker angegriffen, denn an den Ufermauern wird die Wellenenergie nicht durch Wirbelbildung in Wärme umgewandelt, sondern reflektiert, d.h., in den See zurückgeworfen und an andere Orte transportiert. Daß dadurch die Neigung zu Ufererosion verstärkt wird, ist naheliegend. Der Ersatz von Ufermauern durch flache, neu geschüttete Böschungen der Art, wie sie in Kap. 2.6. beschrieben wurden, läuft denn auch am Bodensee-Obersee unter den Maßnahmen zur Erosionsbekämpfung.