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: Teil II. Die mechanische Beanspruchung des Schilfes : frühere Ansätze zur rechnerischen Erfassung der Beanspruchung des Schilfes

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: 08.07.2025

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

2. FRÜHERE ANSÄTZE ZUR RECHNERISCHEN ERFASSUNG DER BEANSPRUCHUNG DES SCHILFES

Vereinzelte Ansätze, die Beanspruchung des Schilfes durch Wellen, Wind und Treibzeug rechnerisch zu erfassen, wurden bereits von füheren Autoren unternommen. Es handelt sich um die im folgenden kurz vorgestellten Arbeiten von KLÖTZLI (1974) und LACHAVANNE et al. (1975,1976). Beide behandeln das Problem aber mehr am Rande, sei es im Rahmen eines größeren Projektes (KLÖTZLI) oder innerhalb einer weiter gefaßten Publikation (LACHAVANNE et al.). Dies zwang sowohl KLÖTZLI wie LACHAVANNE und seine Mitarbeiter zu sehr weitgehenden Vereinfachungen.

2.1. KLÖTZLI (1974)

Als erster untersuchte KLÖTZLI (1974) den Einfluß mechanischer Faktoren auf den Schilfrückgang. Zu diesem Zweck maß er im Versuchsgebiet von Altenrhein am Bodensee Windgeschwindigkeiten, Wellenhöhen und Halmfestigkeiten. In seiner 1974-er Publikation veröffentlichte er erste Ergebnisse und einen mathematischen Ansatz zur Beschreibung der Vorgänge. Diesem Ansatz liegt folgende Modellvorstellung zu Grunde (Fig. 2.1.):
Der Schilfhalm ist ein prismatischer, elastischer, fest im Boden eingespannter Stab mit der Biegesteifigkeit $E\,J$ (= Produkt von Elastizitätsmodul und Flächenträgheitsmoment; vgl. Teil III, 1.1.) und dem Durchmesser D. Das Treibzeug wird als starrer Block mit der Masse M_T idealisiert. Seine Höhe sei gleich der Wassertiefe d. Dieser Block stößt zur Zeit $t = 0$ mit der Geschwindigkeit $x_{T0}^{\cdot}$ auf den Halm. Der Berührungspunkt wird auf halber Höhe (= $d/2$) über dem Seegrund angenommen. Die Anfangsgeschwindigkeit $x_{T0}^{\cdot}$ des Treibzeugs wird gleich der Orbitalgeschwindigkeit u_0 der Wasserteilchen (vgl. Kap. 3.2.2.2.) gesetzt, welche im Falle brechender Wellen gerade ungefähr gleich der Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit c ist. In Anwendung des zweiten Newton'schen Prinzips (Bewegungsgesetz) setzt KLÖTZLI das Produkt aus Masse und Beschleunigung des Treibzeugblocks gleich der zwischen Halm und Treibzeug wirkenden (Stoß-)Kraft F:

$$M_T x^{\cdot\cdot} = F \qquad \text{[N]} \quad (21.1.)$$

M_T ... Masse des Treibzeugs [kg]
$x_T^{\cdot\cdot}$ ... Beschleunigung des Treibzeugs in x-Richtung = d^2x/dt^2 [m/s^2]
F ... Zwischen Halm und Treibzeug wirkende Kraft [N]

Die Kraft F ist wegen der Elastizität des Halmes proportional zur Auslenkung x (die in der Anordnung der Fig. 2.1. mit der Lagekoordinate x_T des Treibzeugs übereinstimmt, solange sich Halm und Treibzeug berühren),

$$F = K\,x \qquad (21.2)$$

x ... Auslenkung des Halmes auf der Höhe $d/2$ über dem Seegrund [m]

Die Konstante K erhält nach der klassischen Biegelehre den Wert

$$K = \frac{3\,EJ}{(d/2)^3} \; . \qquad (21.3)$$

Setzt man (21.2) und (21.3) in (21.1) ein und löst die so erhaltene Differentialgleichung, so resultiert als Bewegungszustand eine Sinusschwingung, deren Amplitude gleich der maximalen Auslenkung des Halmes nach dem Stoß ist. Die Anfangsbedingungen folgen aus den oben erwähnten Modellannahmen: Es ist nämlich zur Zeit

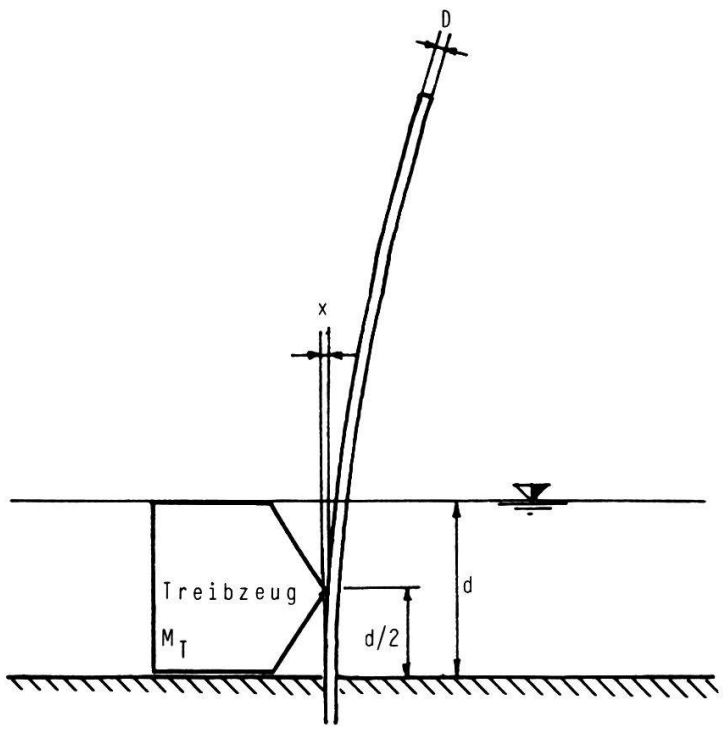

Fig. 2.1. Definitionsskizze zum mathematischen Ansatz von KLÖTZLI (1974).

$t = 0$ (d.h. im Augenblick des Zusammenstoßes) die Auslenkung $x\ (t{=}0) = x_0 = 0$, die Geschwindigkeit $x_{T0}^{\cdot}$ des Treibzeugs gleich jener des Halmes $x^{\cdot}(t{=}0) = x_0^{\cdot}$ auf der Höhe $d/2$, nämlich gleich der Orbitalgeschwindigkeit u_0 der Wasserteilchen. Für die maximale Auslenkung x_{max} erhalten wir dann

$$x_{max} = x_{T0}^{\cdot} \cdot \frac{\sqrt{M_T}}{\sqrt{K}} \tag{21.4}$$

und die maximale Kraft

$$F_{max} = K\, x_{max} = u_0 \sqrt{(K\, M_T)}$$

$$= \frac{\sqrt{(24\, E\, J\, M_T)}}{\sqrt{d^3}} \cdot u_0 \tag{21.5}$$

==========

Aus den von KLÖTZLI gerechneten Beispielen geht deutlich hervor, daß die formulierten Annahmen zu ungünstig sind. Bei einer Wassertiefe d (= Höhe des Treibzeugblocks) von 20 cm, einer Windgeschwindigkeit u_l von rund 15 km/h und einer daraus resultierendne Wellenhöhe H = 15,6 cm erhält er bei einer angenommenen Masse M_T des Treibzeugs von 5 kg/m' Uferlinie maximale Kräfte F_{max} von 2000, 620, bzw. 440 N pro Halm bei 1, 10 respektive 20 Halmen pro Meter Uferlinie. Diesen Belastungen wäre auch der stärkste Schilfhalm nicht gewachsen. Aus folgenden Gründen treten diese hohen Werte in der Natur nicht auf:

- Zwar ist bei brechenden Wellen die Orbitalgeschwindigkeit im Scheitel tatsächlich ungefähr gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, dies gilt jedoch nur für einen eng begrenzten Bereich im Wellenberg. Über die ganze Wassertiefe gesehen ist die (mittlere) Orbitalgeschwindigkeit wesentlich niedriger.
- Da das Treibzeug in seinen Abmessungen wesentlich größer als ein Wellenberg ist, wirkt die maximale Orbitalgeschwindigkeit nur während einer kurzen Zeit voll. In dieser Zeit kann das Getreibsel nicht so stark beschleunigt werden, wie es das obige Modell voraussetzt; zudem wird die Energie vom bewegten Wasser auf das Treibgut nicht verlustfrei übertragen. Die Anfangsgeschwindigkeit $x_{T0}^{\cdot}$ ist darum wesentlich kleiner als in den von KLÖTZLI gerechneten Beispielen.
- Außer im Fall schwimmender Holzstücke oder Fässer u. dgl. ist das Treibzeug auch nicht näherungsweise starr. Zudem befindet sich der Halm zum Zeitpunkt des Zusammenstoßes nicht in Ruhe, sondern in einer durch das Wasser bewirkten, gleichsinnigen Bewegung wie das Treibgut. Durch beide

Einflüsse wird die Wucht des Stoßes wesentlich vermindert.

- Schließlich sei noch erwähnt, daß die den berechneten Kräften entsprechenden Auslenkungen x_{max} von 50 cm (1 Halm/m') bis 11 cm (20 Halme/m') so groß sind (nur 10 cm oberhalb der Einspannstelle!), daß die in den obigen Gleichungen vorausgesetzte Linearität zwischen Kraft und Auslenkung nicht mehr erfüllt ist.

KLÖTZLI hat auch erkannt, daß seine Werte zu hoch liegen. Er berechnet deshalb zusätzlich noch die auftretenden Kräfte nach der Annahme von PLATE und GOODWIN (1966), wonach die Orbitalgeschwindigkeit der Wellen (und damit die Anfangsgeschwindigkeit $x_{T0}^{\cdot}$ des Treibzeugs) ungefähr gleich $^1/50$ der Windgeschwindigkeit gesetzt werden kann. Diese Vereinfachung erscheint aber nicht ohne weiteres zulässig, da die Wellenhöhe und -periode, welche in Abhängigkeit von der Wassertiefe im wesentlichen die Orbitalgeschwindigkeit der Wasserteilchen bestimmen, nicht nur von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von der Größe der freien Wasserfläche und der Winddauer abhängen.

Außer den erwähnten, mit der Natur nicht übereinstimmenden Modellannahmen fehlen in KLÖTZLIS Ansatz noch weitere Einflußgrößen:

- Trägheit (Masse) des Schilfhalms selbst (Eigenfrequenz);
- Luftwiderstand des Halmes (und damit der unmittelbare Einfluß des Windes). Da sich Luft- und Wasserteilchen nicht immer in der gleichen Richtung bewegen, gibt es immer wieder Momente, wo der Halm in eine S-Form gebogen wird, was besonders auf der Höhe des Wasserspiegels zu stark wechselnden Beanspruchungen führt.

Problematisch ist auch der Vergleich zwischen der berechneten Beanspruchung und der gemessenen Bruchfestigkeit, weil diese als Mittelwert der Bruchkraft aus je einem Biegeversuch an einem 40 cm langen Halmstück und an dessen unterer Hälfte definiert wird (vgl. Teil III, Kap. 2). Dies entspricht der Biegebruchfestigkeit eines 30 cm langen Halmstücks, was dem Fall von $^d/2$ = 15 cm entspricht. Es ist nämlich das maximale Biegemoment eines 30 cm langen, in der Mitte belasteten, einfachen Balkens (d.h. an beiden Enden aufgelegt) gleich jenem eines einseitig eingespannten Kragarms, der in 15 cm entfernung von der Einspannstelle belastet wird.

Trotz den hier formulierten Einwänden darf die Bedeutung von KLÖTZLIS Ansatz nicht unterschätzt werden:

Einerseits kommt ihm das Verdienst zu, überhaupt einen Versuch zur Quantifizierung der mechanischen Faktoren unternommen zu haben, andererseits waren es gerade die oben erwähnten Probleme, welche KLÖTZLI zur Veranlassung der vorliegenden Arbeit geführt haben.

2.2. LACHAVANNE et al. (1974, 1975/1976)

In ihrer Diplomarbeit "Evolution de la basse plaine du Rhône, objet d'impotance nationale" widmen LACHAVANNE, CHOULAT und MUNTEANU auch ein Kapitel den mechanischen Faktoren als Ursache für den Schilfrückgang.
Die Originalarbeit (LACHAVANNE et al. 1974) war uns nicht zugänglich und die zusammenfasende Publikation im "Bulletin technique de la Suisse Romande" (LACHAVANNE et al. 1975,1976) ist nicht frei von Druckfehlern. Dadurch wird eine gerechte Würdigung erschwert, und einige der folgenden Bemerkungen mögen deshalb nicht zutreffen.
Das Ziel des Ansatzes von LACHAVANNE und seinen Mitarbeitern liegt nicht vorrangig in der Berechnung exakter Werte. Sie suchen vielmehr den relativen Einfluß der einzelnen Faktoren Wind, Wellen und Treibzeug. Dazu berechnen sie je die $E{\cdot}J$-fache Auslenkung der Halmspitze für die einzelnen Belastungen. So umgehen sie die Schwierigkeiten der Bestimmung der Halmbiegesteifigkeit. Voraussetzung ist nur, daß der Halm prismatisch und elastisch ist.
Für verschiedene Windgeschwindigkeiten berechnen sie (allerdings ohne Angabe der verwendeten Formeln) die Kenngrößen (Periode, Höhe und Länge) der entsprechenden Wellen. Die daraus resultierende Kraft auf den Halm berechnen sie nach der Theorie von SAIN FLOU für die stehende Welle vor einer senkrechten Wand. Selbst bei stärkster Veralgung wirkt aber ein Schilfbestand nie wie eine geschlossene Wand, die Front ist auch im ungünstigsten Fall noch wasserdurchlässig. Außerdem sind die Halme im Gegensatz zu einer starren Wand beweglich. Träfe die obgenannte Voraussetzung zu, so würden die Wellen von einem derartigen Schilfbestand vollständig reflektiert, innerhalb des Bestandes wäre keine Wasserbewegung mehr zu verspüren. In Wirklichkeit laufen die Wellen in den Bestand hinein, bis nach einer bestimmten Strecke ihre Energie aufgezehrt ist oder ein Hindernis das Weiterlaufen verunmöglicht.
Für das am Boden schleifende Treibzeug (vases) nehmen LACHAVANNE und Mitarbeiter an, daß es sich genau gleich wie die umgebenden Wasserteilchen bewegt. Unzulässig ist allerdings der daraus gezogene Schluß, daß dieses Getreibsel den gleichen Druck auf den Halm ausübt, wie das Wasser (was auf eine Verdoppelung des Wasserdrucks in dieser Zone hinausläuft).
Die durch das schwimmende Treibzeug (déchets flottants) bewirkte Auslenkung f an der Halmspitze wird als Funktion der zwischen Halm und Treibgut wirkenden Kraft F angegeben. Über die Größe dieser Kraft werden keine näheren Angaben gemacht. Zu Vergleichszwecken berechnen sie auch die $E{\cdot}J$-fa-

sprechend den Gl. [21.2] und [21.3] im vorigen Kap.). Dabei setzen sie allerdings irrtümlicherweise den von KLÖTZLI verwendeten Term l gleich der Halmlänge, während KLÖTZLI damit die halbe Wassertiefe $^{d}/2$ bezeichnet. Entsprechend erhalten sie für die $E{\cdot}J$-fache Auslenkung völlig unrealistische Werte: Für eine Halmlänge von 1 m wird beispielsweise ein $f{\cdot}E{\cdot}J$ = 66 kp·m^3 angegeben; legt man den von KLÖTZLI verwendeten Wert für $E{\cdot}J$ von rund 13000 N·cm^2 ≈ 0,13 kp·m^2 zu Grunde (entsprechend etwa einem Halm von 8 - 9 mm Durchmesser), so beträgt die Auslenkung f an der Halmspitze demnach f = 0,66kp·m^3/0,13kp·m^2 = 513 m (!).

Es muß vielleicht noch einmal betont werden, daß mit den obigen kritischen Anmerkungen der Wert der arbeit von LACHAVANNE et al. in keiner Weise geschmälert werden soll, beziehen sie sich doch nur auf einen kleinen Teil (einige Abschnitte des Kapitels II.1) daraus.

Aus den beiden letzten Kapiteln kann der Schluß gezogen werden, daß es unmöglich ist, das Problem der mechanischen Beanspruchung von Schilf a priori mit einfachen Ansätzen zu lösen. Vielmehr muß zuerst versucht werden, ein (im Rahmen des Möglichen) umfassendes Modell zu erstellen. Davon ausgehend kann dann der Einfluß allfälliger Vereinfachungen geprüft werden.