



Doctoral Thesis

## **Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug**

**Author(s):**

Binz-Reist, Hans-Rudolf

**Publication Date:**

1989

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000507874> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 8590

**Mechanische Belastbarkeit natürlicher  
Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug**

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

**Hans-Rudolf Binz-Reist**

Dipl. Bauing. ETH  
geboren am 8. Februar 1949  
von Niederwil SO und Solothurn

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. D. Vischer, Referent  
Prof. Dr. P. Dubas, Korreferent  
Prof. Dr. F. Klötzli, Korreferent

1989

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit gliedert den Problemkreis "mechanische Belastung natürlicher Schilfbestände" in vier Teile:

### I. DAS SCHILFROHR (*Phragmites australis* Trin.), ALLGEMEINER ÜBERBLICK

Seit einigen Jahrzehnten ist an den meisten europäischen Seen ein alarmierender Rückgang der Schilfröhrichte festzustellen. Die bisher bekannten Ursachen sind einerseits direkte Zerstörung zwecks Landgewinnung, andererseits indirekte Zerstörung durch veränderte Umwelteinflüsse, vor allem die Gewässerbelastung durch feste und flüssige Abfälle aller Art. Die Folgen des Schilfrückganges werden aufgezeigt.

### II. MECHANISCHE WIRKUNGEN

Mit einem **mathematischen Modell** wird versucht, die mechanischen Vorgänge beim Zusammenspiel von Wind, Wellen, Treibgut und Schilfhalm zu simulieren. Die **Belastungen** resultieren alle aus dem Widerstand, den ein fester Körper (Schilfhalm bzw. Treibzeug) einem strömenden Medium (Luft bzw. Wasser) entgegensetzt. Sie können deshalb mit einem Staudruckansatz beschrieben werden. Die darin enthaltenen (Widerstands-)Koeffizienten müssen experimentell bestimmt werden. Dazu wurden Versuche im Windkanal des Aerodynamischen Instituts an der ETH und im Wellentank der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH (VAW) durchgeführt. Die Geschwindigkeit der strömenden Luft (Windstärke) muß als Eingangsgröße des Modells vorgegeben werden, wogegen die Geschwindigkeit der Wasserteilchen infolge des Wellengangs (Orbitalgeschwindigkeit) mit theoretischen Beziehungen aus den Wellenkenngrößen, nämlich Wellenperiode, -höhe und -länge, abgeleitet werden kann. Zur Abschätzung dieser Wellenkenngrößen als Funktion der Windgeschwindigkeit und der Größe der freien Wasserfläche werden zwei gebräuchliche Verfahren vorgestellt.

Die **Bewegungen von Schilfhalm und Treibzeug** werden durch Bewegungsdifferentialgleichungen beschrieben. Das Treibzeug wird zu einem starren Körper idealisiert. Für die numerische Lösung dieser Gleichungen wird der Schilfhalm zu einem System von starren Teilstäben abstrahiert, welche durch elastische Gelenke ("Drehfedern") miteinander verbunden sind. Die Integration der Differentialgleichungen erfolgt mit einem modifizierten Praedictor-Cor-

rector-Verfahren (Anlaufrechnung mit Runge-Kutta). Aus den Bewegungen des Schilfhalmes lassen sich die **Beanspruchungen** (Biegemomente) ermitteln. Je nach Konstellation der Parameter (Wellenhöhe und -periode, Masse und Größe des Treibzeugs, Windgeschwindigkeit) wird die Bewegung mehr oder weniger unregelmäßig, obwohl die Wellen als streng periodisch vorausgesetzt werden. Anhand durchgerechneter Beispiele wird deshalb diskutiert, auf welche Art die berechneten Beanspruchungen mit den gemessenen **Festigkeitswerten** verglichen werden können. Obwohl quantitative Vergleiche mit dem Bewegungsvorgang unter natürlichen Verhältnissen nicht möglich sind, darf angenommen werden, daß das **mathematische Modell die Halmbewegung mit der bei solchen Modellen zu erwartenden Genauigkeit richtig erfaßt**, da die Ergebnisse plausibel sind und mit qualitativen Naturbeobachtungen übereinstimmen. Die durchgerechneten Beispiele zeigen, daß der Einfluß des Treibzeugs auf die Halmbeanspruchung stark abhängig von den übrigen Parametern ist: Bei einer durch die jeweilige Situation bestimmten Wellenhöhe verschwindet er fast vollständig (d.h. die Beanspruchungen sind mit oder ohne Treibzeug sozusagen gleich groß). Oberhalb dieses Punktes nimmt er in Funktion der Wellenhöhe stetig zu, unterhalb ist keine systematische Tendenz festzustellen. Da naturgemäß die großen Wellen für die Zerstörung des Schilfes maßgebend sind, zeigt sich hier auch auf der **theoretischen Seite die starke, schädigende Bedeutung des Geschwemmsels** für die Schilfröhrichte.

### III. UNTERSUCHUNGEN ZUR HALMFESTIGKEIT

**Labor- und Feldversuche zur Messung der Biegesteifigkeit und -festigkeit** von Schilfhalmern werden beschrieben. Die **Biegesteifigkeit** ist ein maßgeblicher Parameter in den Bewegungsdifferentialgleichungen, wogegen die **Festigkeit** als Vergleichsgröße für die berechneten Beanspruchungen dient. Dieser Zweck der Festigkeitsmessungen bestimmte teilweise die Versuchsdurchführungen: So wurde darauf geachtet, die Halme in einem möglichst "natürlichen" Zustand zu prüfen, wogegen für Quervergleiche zur Charakterisierung verschiedener Bestände eine vorgängige Trocknung angebracht wäre, um den Einfluß verschiedener Wassergehalte auszuschalten.

### IV. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

**Mögliche Schilfschutzmaßnahmen** vorwiegend mechanischer Art werden vorgestellt und diskutiert. Es wird betont, daß derartige Maßnahmen nur als Symptombekämpfung verstanden werden dürfen; dennoch sind sie unter Umständen notwendig.

## RÉSUMÉ

La Thèse traite des impacts mécaniques agissant sur les roselières lacustres naturelles; elle se compose de quatre parties:

### I. APERÇU GÉNÉRAL DU ROSEAU (*Phragmites australis* Trin.)

Depuis une quarantaine d'années, les roselières de la plupart des lacs de l'Europe centrale et celles des lacs périalpins diminuent de façon alarmante. Les causes reconnues en sont la destruction directe pour obtenir du terrain à bâtir ou à cultiver, ainsi que les influences défavorables du milieu, notamment de la pollution des eaux et des macrodéchets. Les conséquences de la disparition des roselières lacustres sont discutées.

### II. LES EFFETS MÉCANIQUES

A l'aide d'un **modèle mathématique**, on a cherché à simuler les effets mécaniques combinés du vent, des vagues et des déchets flottants sur la tige du roseau. Les **charges** résultent de la résistance d'un obstacle (tige, macrodéchets) à l'action de l'air et de l'eau; par conséquent, elles s'expriment par les équations de la pression dynamique. Comme les divers coefficients de résistance contenus dans ces équations doivent être déterminés expérimentalement, des essais ont été exécutés dans la soufflerie aérodynamique de l'Institut d'Aérodynamique de l'Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich (EPFZ) et dans le canal à vagues du Laboratoire d'Hydraulique, d'Hydrologie et de Glaciologie de l'EPFZ (VAW). La vitesse du vent doit être introduite comme input initial, tandis que la vitesse des molécules de l'eau causée par les vagues (vitesse orbitale) peut être dérivée des caractéristiques de la houle (à savoir période, hauteur et longueur) au moyen de relations théoriques. Deux méthodes pour l'estimation de ces caractéristiques en fonction de la vitesse du vent et de l'extension de la surface libre du plan d'eau sont présentées.

Les **mouvements de la tige du roseau et des déchets flottants** (traités comme bloc solide) sous l'action des vagues sont exprimés par des équations différentielles. Pour la solution numérique de ces équations, la tige est considérée comme une série de bâtons non déformables, reliés par des charnières élastiques ("ressort spiral"). Les équations différentielles sont intégrées à l'aide d'une méthode "Praedictor-Corrector" modifiée (calcul initial avec "Runge-Kutta"). La connaissance des mouvements, et donc des déformations de la tige, permet d'en calculer les **efforts** (moments de flexion). Selon la constellation des paramètres du modèle (hauteur et période des vagues, masse et grandeur du macrodéchets, vi-

tesse du vent), les mouvements deviennent plus ou moins apériodiques, bien que les vagues supposées soient strictement périodiques. Il se pose alors une question: comment faut-il comparer les efforts de la tige (calculés) avec les **caractéristiques de résistance** mesurées? Des comparaisons quantitatives entre les mouvements calculés et les mouvements de la vraie tige sont impossibles. On peut supposer cependant que le **modèle mathématique simule correctement l'interaction de la tige avec le vent, les vagues et les déchets flottants dans le cadre d'une précision attribuée normalement à de tels modèles**, car les résultats sont assez plausibles et concordent qualitativement bien avec les observations sur le terrain. Les exemples calculés montrent que l'influence du déchet flottant sur l'effort de la tige varie fortement selon les autres paramètres. Il existe notamment, pour chaque situation, une certaine hauteur de la houle, où l'effet du déchet flottant est pratiquement nul, c. à. d. les efforts sont de même grandeur avec ou sans macrodéchet. Au-dessus de cette limite, l'influence du déchet augmente en fonction de la hauteur des vagues, tandis qu'en dessous, aucune tendance systématique ne s'observe. Cela démontre, du **point de vue théorique**, la **signification déterminante des macrodéchets** pour la destruction mécanique des roselières lacustres.

### III. LES CARACTÉRISTIQUES DE RÉSISTANCE DE LA TIGE DU ROSEAU

Le comportement mécanique de la tige est étudié au moyen de mesures de résistance au laboratoire et sur le terrain. La **rigidité** (résistance à la flexion) est un paramètre principal des équations différentielles du mouvement, tandis que la **fermeté** (limite d'élasticité, limite de rupture) sert comme valeur de comparaison pour les efforts calculés. Ce but déterminait partiellement les démarches; les tiges étaient mesurées en un état le plus "naturel" possible, bien que des comparaisons entre roselières différentes eussent demandé le séchage préalable pour éliminer l'influence variable de la teneur en eau.

### IV. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Quelques **mesures** sont proposées pour la **protection des roseaux**. Il est mentionné que de telles mesures, pour la plupart mécaniques, ne représentent qu'un traitement symptomatique, pourtant nécessaire sous certaines conditions.

## SUMMARY

(English legend of figures and tables see p. 523 - 536)

The present study deals with the impact of mechanical stress on reed stands. It consists of four sections:

### I. THE COMMON REED (*Phragmites australis* Trin.), GENERAL OVERVIEW

During the last forty years, the reed stands of most prealpine and central European lakes have been declining at an alarming rate. Causes which have been recognized thus far are direct destruction through land reclamation, and indirect destruction through environmental changes, especially water pollution by solid or liquid refuse of all kinds. The consequences of reed decline are pointed out.

### II. MECHANICAL EFFECTS

With the aid of a **mathematical model**, the effect of mechanical stress factors on the reed stem, particularly wind and wave action, were simulated. All **load** ensues from the resistance of any obstacle (stem, resp. drift-wood and other floating matter) against the flow of air and water; it can thus be expressed by the equations of dynamic pressure. Some coefficients of these equations (drag coefficient, coefficient of inertia) were obtained by experiments. Experiments were undertaken in the wind tunnel at "Aerodynamisches Institut an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH)" and in the wave tank at "Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH" (VAW). The velocity of the air particles (wind speed) is one of the initial input data of the model, whereas the water particle velocity due to the wave motion (orbital velocity) theoretically can be derived from the wave parameters (period, height, length). Two methods of wave forecasting in function of wind speed and free water surface (fetch) are presented.

The **motions of the stem and the drift** (considered as a rigid body) are expressed by differential equations. To make the numerical solution of these equations possible, the stem has to be abstracted as a concatenation of rigid bars, interconnected by elastic joints ("spiral spring"). The differential equations are integrated with a modified predictor-corrector method (initial steps with Runge-Kutta method). The computed motions and hence the deformations of the stem lead to the **stress factor** (bending moment). According to the constellation of the input parameters viz. wave height, period, mass and form of the

drift, the resulting oscillation of the stalk is more or less irregular, in spite of the wave motion being assumed strictly periodic. The question, how the calculated stress may be compared to the measured **strength values** is therefore discussed and illustrated by some examples of reed stems being strained by wind, waves and a piece of drift-wood. A quantitative comparison between the results of the calculation and the real behaviour of the reed stem is not possible. However, it may be assumed that the **mathematical model simulates the oscillation of the stalk to the degree of accuracy normally attributed to this kind of model**. This assumption can be made on the grounds of the plausibility of the results and that they are well in agreement with qualitative field observations. The calculated examples show that the influence of drift-wood on the stress factor is strongly dependent on other input parameters. For example, at a certain wave height, which is determined by the given situation, the influence of the drift-wood almost totally disappears, i. e. the stress factor is almost the same with or without drift-wood. Above this limit, the influence of drift-wood increases steadily with increasing wave height, whereas below this level no noticeable systematic tendency is observed. It is demonstrated here in theory, that which can be observed in nature: **The destructive impact of high waves on reed is compounded by the additional mechanical stress which drifting objects represent.**

### III. INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE REED STEM

This section describes **laboratory and field experiments for measuring the bending stiffness and strength** of reed stalks. The **stiffness** is an important parameter of the equations of motion, whereas the **strength** serves as a relative value to be compared with the calculated loads. The aim of these measurements determined in part the procedures being used; attention was paid to test the stems in a state as "natural" as possible, although for comparison and assessment of different reed stands the specimens should be dried completely prior to testing, in order to avoid the influence of differences in water content.

### IV. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

**Possible reed stand protection measures**, especially those of a mechanical nature, are suggested and discussed. It is emphasized that most of these measures represent only a treatment of symptoms and may nevertheless be necessary in certain circumstances.