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

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 103 (1989)

Artikel: Ligningehalt und andere Merkmale des Schilfhalmes ("Phragmites australis" [Cav.] Trin. ex Steudel) in Beziehung zur Röhrichtbewirtschaftung = Content of lignin and other characteristics of reed stalks ("Phragmites australis [Cav.] Trin, ex Steudel) depe...

Autor: Guntli, Albert P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308912

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: 09.12.2025

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

Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 103. Heft

Ligningehalt und andere Merkmale des Schilfhalmes (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel) in Beziehung zur Röhrichtbewirtschaftung

Content of lignin and other characteristics of reed stalks (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel) depending on management

Albert P. Guntli

1989

Für Ines, Daniel, Madeleine und Silvia

INHALT

	Vorwort	5
1.	**Einleitung**	7
1.1.	**Der Schilfrückgang**	7
1.2.	**Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit**	11
2.	**Grundlagen: Das Schilfrohr, sein Vorkommen und Aufbau**	12
2.1.	**Die Verbreitung des Schilfes**	12
2.2.	**Aufbau des Schilfhalmes**	14
2.2.1.	Einführung	14
2.2.2.	Anatomie des Schilfhalmes	17
2.2.2.1.	Uebersicht	17
2.2.2.2.	Verholzung und Sklerenchymstrukturen	18
2.3.	**Parasitenbefall (Zigarrenbildung)**	21
3.	**Material und Methoden**	23
3.1.	**Untersuchungsgebiete**	23
3.1.1.	Versuchsfeld Altenrhein/SG	23
3.1.1.1.	Geographische Angaben und Schutzmassnahmen	23
3.1.1.2.	Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet von Altenrhein	26
3.1.2.	Schilfstandorte am Bodensee-Untersee	27
3.2.	**Schilfmaterial**	27
3.2.1.	Schilf von Altenrhein/SG	27
3.2.2.	Schilf vom Bodensee-Untersee	30
3.3.	**Methoden**	32
3.3.1.	Morphologische Schilfaspekte der Erhebungen 1978/79	32
3.3.2.	Mikropräparationstechnik zur histologischen Untersuchung	33
3.3.2.1.	Einführung	33
3.3.2.2.	Vorversuche	33
3.3.2.3.	Dünnschliffmethode	34
3.3.2.4.	Präparatfärbungen	37
3.3.2.5.	Herstellen von Mikrodiapositiven	38
3.3.2.6.	Auswertungen am Bildanalyser	38
3.3.3.	Verteilung des Lignins im Stengelquerschnitt	40
4.	**Resultate**	41
4.1.	**Morphologische Schilfaspekte in den drei Bewirtschaftungszonen**	41
4.1.1.	Zigarrenbildung (Parasitenbefall)	42
4.1.2.	Halmhöhen, Halmdicken und Knotenzahlen	42
4.1.3.	Halmzahlen und Trockensubstanz	42
4.2.	**Ligningehalt in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung**	48
4.3.	**Ligningehalt im Stengelquerschnitt**	51

4.4. Ligningehalt auf verschiedenen Halmhöhen und seine Abhängigkeit von der Erntezeit 53

5. Diskussion 55
5.1. Präparations- und Auswertemethoden 55
5.2. Eigenschaften der Schilfhalme und Umweltfaktoren 56
5.2.1. Zigarrenbildung 56
5.2.2. Halmhöhen, Halmdurchmesser und Knotenzahlen 57
5.2.3. Halmzahl und Trockensubstanz 57
5.2.4. Abhängigkeit des Ligningehaltes von Standort und Bewirtschaftung 58
5.2.5. Stengelbelastung und Ligninbildung über den Halmquerschnitt 59
5.2.6. Lignin in verschiedenen Stengelinternodien 59

Zusammenfassung - Summary 60

Literatur 62

VORWORT

Der allgemeine Rückgang der Seeufervegetation, insbesondere des Schilfgürtels, seit mehr als 30 Jahren wurde und wird weit über unsere Grenzen hinaus mit einem grossen Missbehagen beobachtet. Anfänglich stand man diesem Geschehen machtlos gegenüber. Später versuchte man dann durch Bewirtschaftungsmassnahmen dem Schilfrückgang entgegenzuwirken und die Ursachen des Geschehens durch wissenschaftliche Untersuchungen am Schilf, im Wasser und im Boden zu finden. Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Ursachenforschung liegt auch die vorliegende Arbeit.

Der Anstoss zu dieser Arbeit ging von Professor Dr. F. KLÖTZLI vom Geobotanischen Institut der ETH Zürich aus. An diesem Institut beschäftigt man sich nun schon seit rund 25 Jahren mit den Veränderungen im Schilfbestand an den Ufern der Schweizer Seen und mit den Schilfpflegemassnahmen.

Die vorliegende Arbeit wurde einerseits in den Jahren 1978/79 und andererseits ab 1984 erstellt. Während im ersten Teil allgemeine morphologische Erhebungen im Vordergrund standen, ging es im zweiten Teil um histologische Schilfhalmuntersuchungen. Die letzteren Studien konnten aber erst ausgeführt werden, nachdem eine geeignete Präparationstechnik für die Herstellung der Schilfhalmquerschnitte entwickelt worden war und der Bildanalyser eine elektronische Auswertung ermöglicht hatte.

Allen Helfern, die am Zustandekommen dieser Studie beteiligt sind, sei hier herzlich gedankt. Insbesondere gilt dieser Dank Herrn Prof. Dr. F. KLÖTZLI für die Leitung, Förderung und Unterstützung dieser Arbeit und für das stete Wohlwollen meinen Tätigkeiten gegenüber. Einen speziellen Dank entrichte ich an Herrn Prof. Dr. E. LANDOLT, Direktor des Geobotanischen Instituts der ETH Zürich, der mit viel Entgegenkommen meine wissenschaftlichen Arbeiten verfolgte, stets unterstützte und vor allem durch die finanziellen Beiträge ermöglichte. Einen besonderen Dank erstatte ich an Herrn Dr. H.-R. BINZ, Geobotanisches Institut der ETH Zürich, für seine freundlichen Beratungen und Hilfeleistungen insbesonders bei den statistischen Auswertungen und Computeranwendungen. Herrn Prof. Dr. J. WATTENDORF, Universität Freiburg i.Ue., danke ich für die Beratungen. Den Herren Direktoren Dr. H. UEHLINGER und Dr. A. KAISER danke ich für die Zurverfügungstellung eines Arbeitsplatzes in der Firma Viscosuisse in Widnau. Herrn Vizedirektor Dr. K. SCHLÄPFER und Herrn lic.rer.pol. A. WYSS danke ich für die Erlaubnis, dass ich an den optischen Geräten der EMPA in St.Gallen die elektronischen Auswertungen vornehmen durfte. Danken möchte ich ebenfalls Herrn W. OSTENDORP, Konstanz, der mir Schilfmaterial vom Bodensee-Untersee

zur Verfügung gestellt hat. Ebenso danke ich den Herren P. ROHNER und J. BRUNNER sowie Fräulein J. KÖPPEL von der Viscosuisse für die wertvolle Hilfe bei der Suche nach verschiedenen Präparationstechniken an Pflanzenstengeln und für deren Hilfe bei der Ausführung der Präparationen an den Schilfhalmen. Einen Dank möchte ich auch an den ehemaligen Rektor der Kantonsschule Heerbrugg, Herrn Dr. B. FÜRER, sowie an seinen Nachfolger, Herrn Prof. W. WEBER, richten für ihr stetes Wohlwollen bei der Ausführung dieser Arbeiten. Speziell danke ich Herrn Dr. A. BRAUN, Heerbrugg, für die Übersetzungen ins Englische und Herrn Hans ZIMMERMANN, Mels, für seine Schilfflächenvermessungen im Versuchsfeld Altenrhein. Frau Dr. V. HUMBEL und Herrn P. KÜNG danke ich für ihre Beratungen bei den elektronischen Auswertungen an der EMPA in St. Gallen, sowie Herrn H. BORN, von der Firma CSA Computer AG in St. Gallen, für die Zurverfügungstellung eines PC Apple Macintosh SE für die Ausführung dieser Arbeit. Danken möchte ich auch Herrn Ortspräsidenten F. SCHNEIDER von Altenrhein für die Zusammenarbeit beim Abbrennen des Schilfes im Untersuchungsgebiet.
Endlich danke ich meiner Frau Ines für ihre Beiträge bei den Schreibarbeiten sowie meinem Sohn Daniel für seine Mitwirkung bei den Computeranwendungen.

1. EINLEITUNG

1.1. DER SCHILFRÜCKGANG

Die Schilfrohrbestände haben eine grosse Bedeutung für die Erhaltung des biologischen Gleichgewichtes im Ökosystem der Süsswasserseen, als natürlicher Uferschutz der Gewässer, für die Regulierung des Grundwassers, als Erntegebiete für die Cellulose- und Fischerei-Industrie sowie als Refugien vieler einzigartiger Pflanzen und Tiere. Dank der ökologischen Bedeutung und ihrer landschaftlichen Schönheit sind vielerorts grossflächige Naturschutzgebiete in den Schilfzonen geschaffen worden. Aber selbst die Unterschutzstellung konnte nicht verhindern, dass das "Schilfsterben" in gewaltigen Ausmassen einsetzte und rasch voranschritt. In der Folge entwickelte sich eine intensive Suche nach der Verhinderung dieser Vegetationsveränderung, und die Erforschung der geeigneten Schilfpflegemassnahmen wurde von verschiedenen Wissenschaftlern vorangetrieben, namentlich genannt seien hier KLÖTZLI (1971, 1973 und 1975), KLÖTZLI und ZÜST (1973 a,b), SUKOPP et al. (1975), GRÜNIG (1975), SCHRÖDER (1987), OSTENDORP (1983), BINZ (1989).
Während sich das Schilfröhricht an verschiedenen Schweizerseen bis in die Fünfzigerjahre nur langsam zurückzog (HÜRLIMANN 1951), betrug der Rückgang in den Siebzigerjahren an einigen exponierten Stellen am Bodensee drei Meter landwärts pro Jahr (GRÜNIG 1980); an einer Stelle wies GRÜNIG an diesem Schweizersee sogar einen Rückgang um etwa 150 Meter zwischen 1926 und 1974 nach. An die Stelle der Röhrichte traten dann häufig Unkrautfluren und kahle Uferzonen oder die Uferbank erodierte. Der natürliche Uferschutz war dadurch stark geschwächt oder verloren gegangen. HÜRLIMANN (1951) zeigte auch, dass die ungünstigen Einwirkungen des Menschen auf die Phragmiteten überwogen, und dass die Bestandesentwicklungen rückläufig waren.
Ähnliche Erscheinungen des Schilfsterbens wurden in den letzten Jahren nachgewiesen an den Berliner Havelseen (SUKOPP 1963, 1971, 1973, SUKOPP und KUNICK 1968, SUKOPP und MARKSTEIN 1981, SUKOPP et al. 1975). Nachrichten über einen dramatischen Schilfrückgang stammen auch aus Grossbritannien (BOORMAN und FULLER 1981), vom Plattensee in Ungarn (KOVACS 1976) und aus der DDR (JESCHKE 1976). Nach PRIES (1984 und 1985) betrugen die Röhrichtverluste in der uckermärkischen Seenlandschaft (80 km nördlich von Berlin) bis 1982 durch Totalausfall 22.6%, durch Ausfall innerhalb der noch bestehenden Röhrichte 24.6%, insgesamt 47.2%. Nur noch 12.9% der Röhrichte in dieser ehemals so hübschen Landschaft sind noch als intakt anzusprechen. An den Schweizerseen

waren am Ende der Siebzigerjahre nur noch ca. 3.5% der früheren Röhrichte unversehrt und noch 10% in "gutem Zustand" (KLÖTZLI 1980).
Mit Überraschung und Befriedigung berichten andererseits aber auch BITTMANN (1953), BITTMANN und SEIDEL (1967), KICKUTH (1969 und 1975) sowie SEIDEL (1966, 1971 und 1975) von Erfolgen in der Nutzung höherer Wasserpflanzen bei der Beseitigung von Schadstoffen.
Seit den Sechzigerjahren sind in Anbetracht der dramatischen Ereignisse an den Seeufern verschiedene wissenschaftliche Projekte zur ursächlichen Erforschung des Schilfsterbens und der Zerstörung der natürlichen, vorderen Ufervegetation in Angriff genommen worden. Im Rahmen dieser Forschung wurden zum Beispiel vergleichbare Schilfflächen unterschiedlich bewirtschaftet (durch Mahd und Brand) und dann am Schilf im Vergleich mit nicht bewirtschafteten Flächen physikalische und chemische Untersuchungen durchgeführt. Zudem wurde in eingezäunten Flächen untersucht, wie stark sich die mechanischen Faktoren (Wellenschlag, Treibzeug und Verbiss durch Vögel) auf das Schilf auswirkten. Diese Arbeiten in den verschiedenen Bewirtschaftungsflächen gaben dann Hinweise auf das beste Wachstum und damit auf die geeignetste Pflegemassnahme dieser gefährdeten Ufervegetation. Es sei hier namentlich auf die folgenden Arbeiten verwiesen: LANG (1968), KLÖTZLI (1971, 1973, 1974), KLÖTZLI und ZÜST (1973 a,b), KLÖTZLI und GRÜNIG (1976), BINZ und KLÖTZLI (1978), SCHRÖDER (1973, 1976, 1987), SUKOPP und MARKSTEIN (1981), OSTENDORP (1983, 1986, 1987), BINZ (1980, 1989). In all diesen Arbeiten liegen die Hauptursachen für das Schilfsterben in einem Faktorenkomplex, der vom Menschen verursacht wird. Alle Autoren (ausser OSTENDORP) bezeichnen die Gewässereutrophierung mit ihren vielen Folgen als primäre Schadenursache. Dazu kommen die schädlichen Auswirkungen von Uferbankveränderungen, Boots- und Schiffsverkehr, Vogelfrass und Insektenbefall sowie die Schäden von Erholungssuchenden.
Zur Ursachenabklärung fehlten Resultate aus histologischen Untersuchungen am Schilfhalm. Bis dahin war es zudem nicht möglich, rationelle, quantitative, optische Strukturanalysen in mikroskopischen Stengelquerschnitten durchzuführen. Sobald die technischen Voraussetzungen für die elektronische Bildanalyse gegeben waren, drängte sich die vorliegende Arbeit (gleichsam als Ergänzung zu den bestehenden) direkt auf.
Die Ursachen des Schilfsterbens, welches sich in der Rhizomfäule und in der Schwächung des Halmes deutlich äussert, sind durch viele Faktoren begründet, und der zeitliche Verlauf des Schilfrückganges ist bekannt (BINZ 1989). Während der Bodensee-Obersee bis 1940 von den Wissenschaftlern als klassisches, oligotrophes Gewässer eingestuft worden war, ist dieser See heute eutroph. Im Bo-

densee-Untersee musste Schilf (vor 1940) noch als aktive Verlandungspflanze angesehen werden, d.h. die Bestände hatten die Tendenz, sich seewärts auszubreiten (SCHRÖDER 1987). Das Schilfsterben hat hauptsächlich anthropogene Ursachen.
Einige Eutrophierungskriterien, welche das Schilfsterben mitbeeinflussen, sind in Fig. 1 und 2 dargestellt.

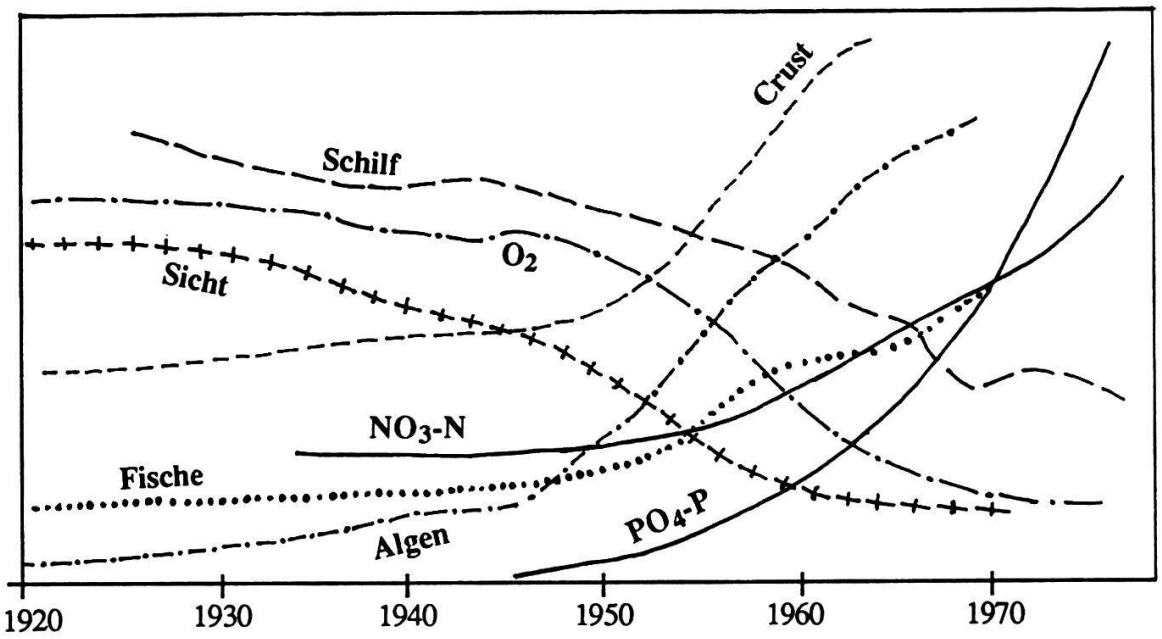

Fig. 1. Vergleich zwischen der Entwicklung einiger Eutrophierungskriterien und dem Schilfrückgang am Bodensee-Untersee (nach GRÜNIG 1980).
Comparison between the development of some eutrophication criteria and the decrease of reed on the Bodensee-Untersee (cf. GRÜNIG 1980).

PO_4-P: Phosphat-Phosphor-Konzentration - *Phosphate-phosphorus concentration*
NO_3-N: Nitrat-Stickstoff-Konzentration - *Nitrate-nitrogen-concentration*
Algen: Konzentration der Zellen der Planktonalgen in der Wassertiefe von 0-10 m
algae: Concentration of cells of plankton-algae in the depth of water of 0-10 m
Crust: Planktonkrebschen unter 1 dm^2 Wasserfläche - *Plankton crustacean below 1 dm^2 of water surface*
Fische: Fischereierträge des gesamten Bodensees
Fish: Fishing amounts of the entire Bodensee
O_2: Restsauerstoffgehalt in der grössten Tiefe - *Amount of remaining oxygen in the greatest depth*
Sicht: Sichttiefen mit Secchi-Scheiben gemessen
Sight: Visibility measured with Secchi-discs
Schilf: Flächenverlust des Schilfbestandes von Altenrhein (in % der 1926 besiedelten Fläche
Reed: Loss of reed-areas in Althenrhein (in percentage of the grown area in 1926)

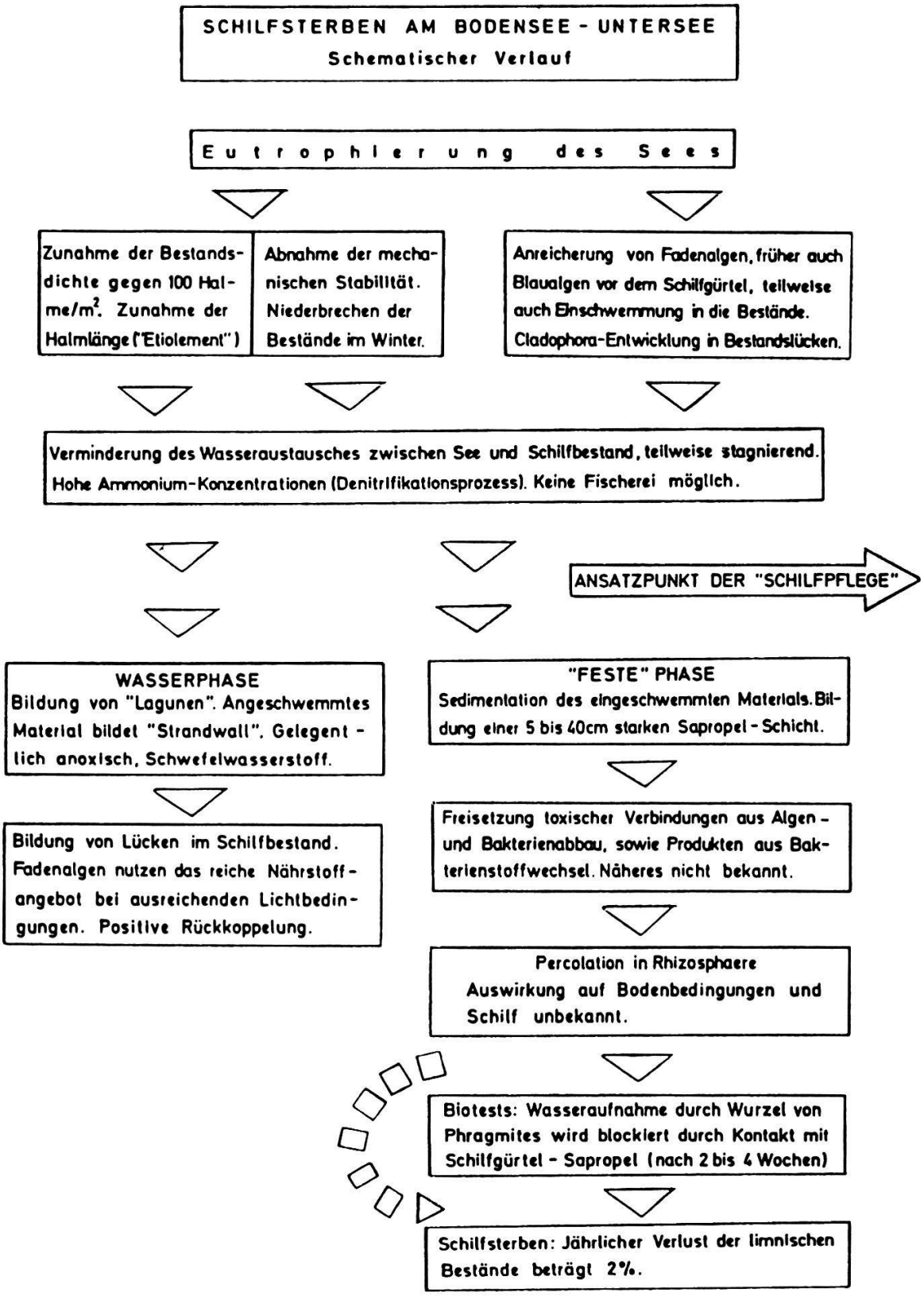

Fig. 2. Verlaufsbild des Schilfsterbens am Bodensee-Untersee (nach SCHRÖDER 1987).
Diagram showing the process of dying reed on the Bodensee-Untersee (cf. SCHRÖDER 1987).

1.2. ZIELSETZUNGEN DER VORLIEGENDEN ARBEIT

Im Zusammenhang mit dem rapiden Schilfrückgang an den Schweizerseen wurde mit verschiedenen Methoden versucht, den Ursachen des "Schilfsterbens" auf die Spur zu kommen. Während bei den meisten Forschungsarbeiten die Untersuchungen der chemischen und physikalischen (mechanischen) Schilfeigenschaften sowie der Reaktionen des Schilfes auf verschiedene Umweltfaktoren im Vordergrund standen, geht es in der vorliegenden Arbeit um die Untersuchung von morphologischen und vor allem histologischen Veränderungen im Schilfhalm als Reaktion auf Aussenfaktoren, im besonderen um den Ligningehalt als Festigungselement des Schilfhalmes.
Die Zielsetzungen können wie folgt formuliert werden:

1. Ein Vergleich der Schilfmorphologie (Halmhöhe, -querschnitt, -knotenzahl), der Trockensubstanz und des Insektenbefalls soll neben der Ermittlung der Halmzahl pro m^2 einen Einblick in die unmittelbaren Reaktionen auf die Pflegemassnahmen vermitteln.
2. Der Ligningehalt soll mit einer neuen Methode optisch bestimmt werden.
3. Es soll abgeklärt werden, ob der Ligningehalt konkrete Anhaltspunkte für die Halmstabilität vermittelt (z.T. im Vergleich mit den Steifigkeitsmessungen von BINZ 1989).
4. Für die Herstellung der Querschnitts-Mikropräparate durch die Schilfhalme soll eine neue, geeignete Methode gesucht und entwickelt werden, damit Mikrodiapositive hergestellt werden können.
5. Die farbigen Mikrodiapositive sollen rationell im Bildanalyser ausgewertet werden.
6. Die histologischen Untersuchungen sollen abklären, wie sich der Ligningehalt des Halmes im Laufe des Jahres verändert und in welchen Querschnittsrichtungen die meisten Festigungselemente (bzw. Ligninanteile) vorkommen.
7. Schliesslich soll untersucht werden, ob und allenfalls inwiefern die Sklerenchymbildung (bzw. der Verholzungsgrad) des Stengels von der Bewirtschaftung der Schilfflächen abhängt.

2. GRUNDLAGEN: DAS SCHILFROHR, SEIN VORKOMMEN UND SEIN AUFBAU

2.1. DIE VERBREITUNG DES SCHILFES

Das Schilfrohr, *Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel (früher *Phragmites communis* Trin. genannt) ist eine der am weitest verbreiteten Pflanzen der Welt, und ihr kosmopolitischer Charakter wird nach BITTMANN (1953) nur von einigen Landpflanzen (z.B. von *Poa annua* L.) erreicht. Gemäss Fig. 3 ist Schilf in allen fünf Erdteilen zu finden, mit Ausnahme von einigen Tropengebieten (z.B. Amazonasgebiet), vom südlichen Teil Südamerikas und von Island. Nach HÜRLIMANN (1951) wird *P. australis* in kleineren Gebieten der Tropen und Subtropen von zwei anderen Schilfarten, *Phragmites karka* Trin. (in Indien und China) und *Phragmites dioica* Hackel (in Argentinien) abgelöst. Das Schilf verschwindet dort, wo es keine bestimmte Vegetationsperiode hat, die von einer mehrmonatigen Ruhepause (Winter, Trockenzeit oder Überschwemmung wegen Regenzeit) unterbrochen wird.
Die vertikale Verbreitung des Schilfes zeigt ein durchgehendes Vorkommen vom Meeresspiegel bis in die subalpinen Bereiche. Im Kanton Graubünden findet man Schilf mehrfach bis 1900 m. Die höchstgelegene Fundstelle in den Schweizer Alpen liegt nach HÜRLIMANN (1951) auf 1925 m ü.M. am Lago Cadagno im Val Piora im Kanton Tessin (Standort: Quellsumpf; noch blühend; Stengellänge bis ca. 70 cm); hingegen erreicht Schilf in den deutschen Alpen nach OBERDORFER (1970) nur eine Höhe von 1150 m ü.M. Die Höhengrenzen fürs Schilfrohrvorkommen liegen in den Anden und in Tibet bei 3000 m ü.M., also weit höher als in den Alpen.
Standörtlich kommt Schilf bestandesbildend als Verlandungspflanze (im Röhricht) an stehenden oder langsam fliessenden Gewässern, auf schlammigen, torfigen, nährstoffreichen bis nährstoffarmen Böden vor. Nach OBERDORFER (1970) ist das Schilfrohr auch ein Grundwasserzeiger und im grossen und ganzen wärmeliebend. Schilf gedeiht gut auf tonigen oder sandigen Alluvialböden, die reich an Detritus, Humus und $CaCO_3$ sind und regelmässigmässig überschwemmt werden. Auch auf azidophilen Böden (z.B. saure Hochmoorböden mit einem pH 3) kann *Phragmites* auftreten. Eine charakteristische pedologische Formation des Schilfrohres ist das "Plaur", welches an Deltas der grossen Ströme und Flüsse wie Donau, Wolga, Dnjepr, Euphrat und Tigris usw. vorkommt (RODEWALD-RUDESCU 1974). Unter dem "Plaur" versteht man schwimmende 0.5-2.0 m dicke, aus Schilfrohrrhizomen und anderen Pflanzenwurzeln bestehende, mit torfiger Erde

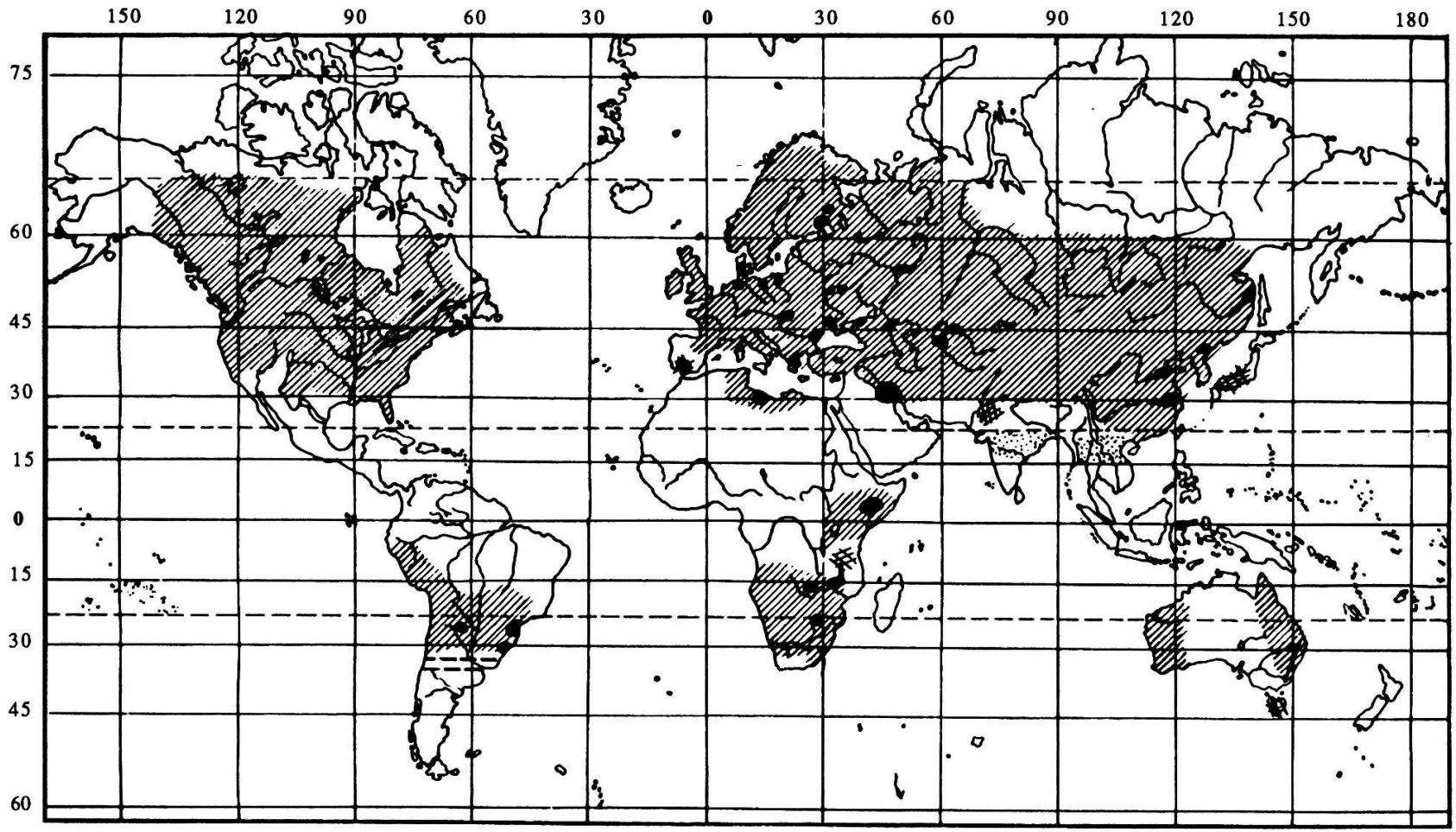

Fig. 3. Verbreitungskarte von *Phragmites* auf der Welt. Die schwarzen Flecken sind industriell verwertbare Schilfrohrflächen; schraffiert = Verbreitung von *Phragmites australis*; punktiert = Verbreitung von *Phragmites karka*; horizontal liniert = Verbreitung von *Phragmites dioica*; gekreuzt schraffiert = Ergänzungen zum Vorkommen von *Phragmites australis* (KLÖTZLI mündl.), (nach RODEWALD-RUDESCU 1974; ergänzt).
Map showing the extension of Phragmites worldwide. The black dots depict reed-areas for industrial use; hatched = the extension of Phragmites australis; dotted = the extension of Phragmites karka; horizontal lines = the extension of Phragmites dioica; cross-hatched = additional occurence of Phragmites australis (KLÖTZLI pers.comm.), (cf. RODEWALD- RUDESCU 1974, supplemented).

befestigte Inseln, deren Oberfläche wegen des spezifischen Gewichtes der hohlen Schilfrohrrhizome ungefähr 10-15 cm über der Wasseroberfläche liegt und dem jeweiligen Niveau des Wassers folgt. Die gleichmässigen hydrologischen Bedingungen mit dem grossen Reichtum an organischen Stoffen haben auf diesem Biotop eine besonders gute Entwicklung des Schilfrohres (meist Monokulturen) zur Folge.

2.2. AUFBAU DES SCHILFHALMES

2.2.1. Einführung

Das zu den Echten Gräsern (*Gramineae* oder *Poaceae*) gehörende Schilfrohr bringt einen oberirdischen, einjährigen Stengel hervor, der im Mittel 2-4 m hoch und 0.8-1.5 cm dick wird. Die steifen Halme sind zellulosereich, mit Kieselsäure durchsetzt und mit mehr als 15 Knoten versehen. Eine grosse, endständige, leicht nickende und vielblütige Rispe, aus zwei- bis achtblütigen Ährchen aufgebaut, krönt die stattliche Pflanze. Schilf blüht in Europa vom Juli bis September. Die Vermehrung des Rohres erfolgt hauptsächlich vegetativ durch das horizontale Wachstum der Rhizome (Erdsprosse) und auch durch die Verbreitung von kriechenden Niederstengeln. An Standorten, wo das Schilf ständig im Wasser steht, kann die Samenverbreitung durch Wind, Wasser und Vögel eine grosse Bedeutung haben. Primärwurzeln fehlen.Die Schilfhalme, die durch Knoten in Internodien geteilt sind, erreichen in bestimmten Verbreitungsgebieten, z.B. in der mesopotamischen El Azair-Gegend (Irak), im Mittel eine durchschnittliche Gesamtlänge von 6.08 m und eine maximale Halmlänge von 7.07 m (RODEWALD-RUDESCU 1974); dies bedeutet, dass in den Plaur-Zonen von El Azair die Schilfhalme mehr als doppelt so hoch werden und rund 3.5 mal soviele Knoten (46-62) haben als unser Schilf am Bodensee (Tab. 1 und 3). Die Internodienlänge der Einzelhalme variieren sowohl beim einheimischen Schilf mit 4.7-26.1 cm (Tab. 1) als auch beim Schilf aus Mesopotamien mit 1.0-31 cm beträchtlich. Tab. 1 zeigt, dass die Länge der Internodien in der unteren und oberen Mitte des Halmes am grössten ist und von dort nach unten und nach oben hin abnimmt.

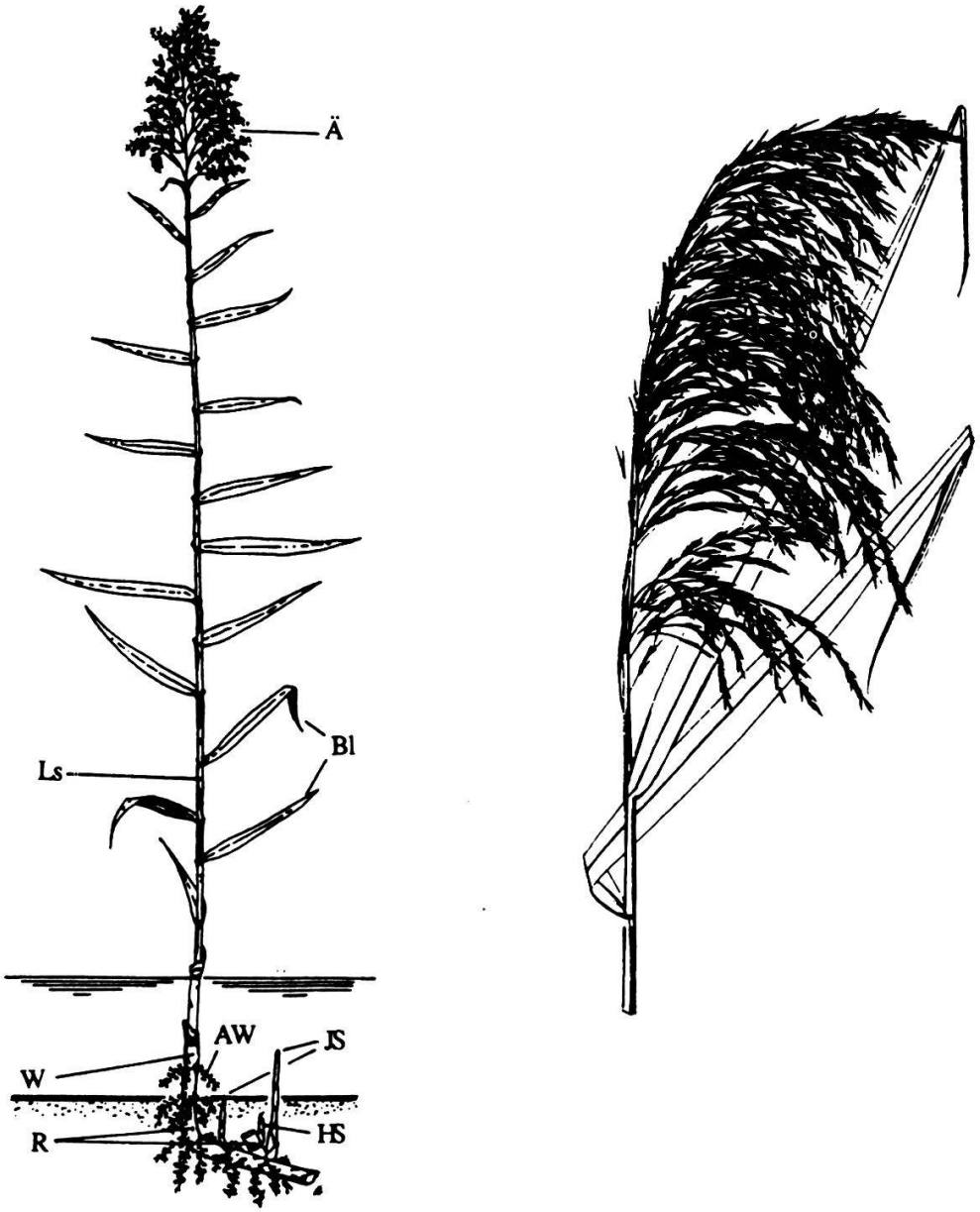

Fig. 4. Links: Gesamtbild des Schilfhalmes (nach BINZ 1989).
Left: picture of the entire reed-stalk (cf. BINZ 1989).
R = Rhizom - *rhizome*; W = Wasserstengel - *water-stalk*; Ls = Luftstengel - *air-stalk*; HS = Halmsprosse - *stalk-sprout*; JS = Jungsprosse - *young sprout*; AW = Adventivwurzel - *adventitious root*; Bl = Blätter - *leaves*; Ä = Ähre oder Rispe - *ear or panicle*
Rechts: Blütenstand (Ähre oder Rispe) einer Schilfpflanze (nach Hess et al. 1967)
Right: blossom (ear or panicle) of a reed (cf. Hess et al. 1967).

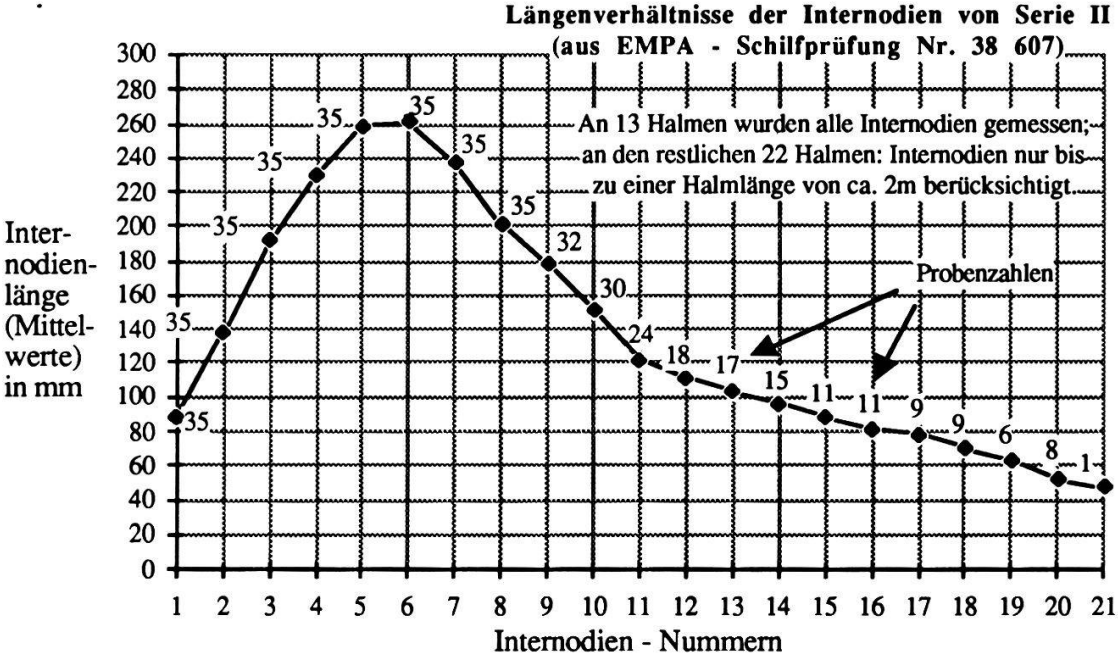

Fig. 5. Längen der Internodien einer Serie von Schilfhalmen aus Altenrhein (Bodensee-Obersee). Messungen EMPA Zürich (Darstellung verändert).
Lengths of internodia of a number of reed-stalks from Altenrhein (Bodensee-Obersee). Measurings by EMPA Zurich (altered presentation).

Tab. 1. Schilfinternodien-Längen zu Fig. 5 mit Höhenangaben zu den einzelnen Internodien.
Lengths of internodia from Fig. 5 supplemented with the heights of individual internodia.

Internodien-Nummern	Internodienlängen Mittelwerte in mm	Probezahlen	Höhe oberhalb Internodium in cm (Mittelwerte)
1	89	35	8.9
2	138	35	22.7
3	192	35	41.9
4	230	35	64.9
5	259	35	90.8
6	261	35	116.9
7	237	35	140.6
8	202	35	160.8
9	179	32	178.7
10	152	30	193.9
11	122	24	206.1
12	111	18	217.2
13	103	17	227.5
14	96	15	237.1
15	88	11	245.9
16	81	11	254.0
17	78	9	261.8
18	70	9	268.8
19	63	6	275.1
20	52	8	280.3
21	47	1	285.0
Halmhöhe (total)			285.0

2.2.2. Anatomie des Schilfhalmes

2.2.2.1. Übersicht

Der monokotyle Schilfstengel ist in Knoten und Internodien gegliedert, was einerseits die Folge der Blattentstehung am Apikalmeristem und andererseits die Folge des internodialen Längenwachstums ist. Die Ausprägung der anatomischen Merkmale dieser Pflanze ist stark vom Einfluss der Umweltbedingungen

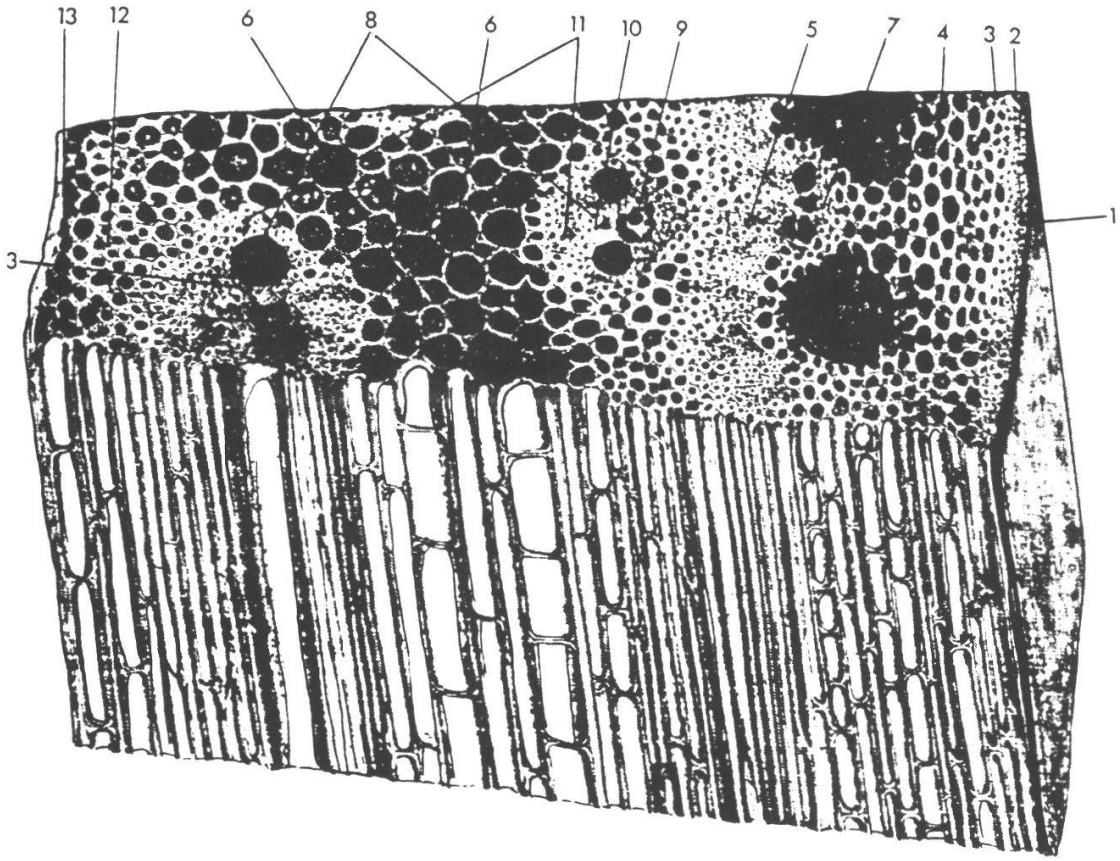

Fig. 6. Quer- und Längsschnitt durch ein Schilfhalm-Internodium (nach TOCAN et al. 1965, leicht verändert).
Cross-section an longitudial section of a reed-internodium (cf. TOCAN et al. 1965, slightly modified).
1 = Epidermis - *epidermis*, 2 = subepidermales Sklerenchym - *subepidermal sclerenchyma*, 3 = subepidermales Parenchym - *subepidermal parenchyma*, 4 = Aerenchym - *aerenchyma*, 5 = äusserer, aus Sklerenchymfasern bestehender Festigungsring - *external stability made of sclerenchyma fibres*, 6 = Grundparenchym - *basic parenchyma*, 7 = äussere Leitbündel - *external fascicle*, 8 = innere Leitbündel - *internal fascicle*, 9 = Phloem - *phloem*, 10 = Xylem - *xylem*, 11 = perifaszikuläres Sklerenchymgewebe - *perifascicular tissue of sclerenchyma*, 12 = innerer sklerenchymatischer Festigungsring - *internal sclerenchymatous stability ring*, 13 = inneres Parenchym - *internal parenchyma*.

abhängig (NIKOLAJEWSKI 1971); bei Wassermangel werden z.B. weniger Sklerenchymgewebe entwickelt.
Am Internodienzylinder des Schilfes unterscheidet man zwischen den folgenden vier Gewebeschichten:

1. einschichtige Epidermis, Schutzschicht (Fig. 6: 1)
2. Sklerenchymschichten, mechanische Festigungsschichten (Fig. 6: 2, 5, 11, 12)
3. Parenchym, Grundgewebe (Fig. 6: 3, 4, 6, 13)
4. Leitgewebe (Fig. 6: 7, 8, 9, 10).

In Fig. 6 bilden die Epidermis (1), das subepidermale Sklerenchym (2) und das subepidermale Parenchym (3) die Rinde. Im Bereich der äusseren Sklerenchymschicht (5) liegt der äussere Gefässbündelring (7). Im Grundparenchym liegen zwei bis vier Reihen unregelmässig verteilter Gefässbündel, welche von perifaszikulären Sklerenchymschichten (11) umgeben sind. Das innere Sklerenchym (12) und das innere Parenchym kommen nur selten vor. Schon in der Wachstumsphase verschwindet das Markparenchym im Zentrum des Halmes, und es entsteht dort statt dessen der zylindrische Hohlraum.

2.2.2.2. Verholzung und Sklerenchymstrukturen

Für die Festigung der Pflanzenorgane sind zwei verschiedene Zelltypen verantwortlich: die Kollenchymzellen der noch wachsenden Pflanzenteile und die Sklerenchymzellen der ausdifferenzierten Pflanzenorgane. Dank dieser Festigungsgewebe ertragen die Pflanzenhalme unter Wahrung der Elastizität eine starke mechanische Beanspruchung; dies ist eine Vorausetzung z.B. für die mechanische Resistenz der dünnen, windexponierten Grashalme.
Die nie verholzten Kollenchymzellen verdicken abschnittweise ihre Primärzellwände. Bei den Sklerenchymzellen sind hingegen die ganzen Sekundärzellwände verdickt und im ausdifferenzierten Zustand verholzt (FAHN 1982). Den Sklerenchymzellen fehlt meist ein lebender Protoplast, und ihre Zellwände sind bisweilen so dick, dass die Zell-Lumina verschwinden. Beim Sklerenchym kann man im allgemeinen die Fasern von den Steinzellen (= Sklereïden) unterscheiden. Während die kurzen Sklereïden mit ihrer beachtlichen Formenfülle in allen Pflanzenteilen verteilt vorkommen, ohne dass man ihnen eine mechanische Funktion zuschreiben könnte, stehen die langgestreckten Sklerenchymfasern häufig in Beziehung zum Leitgewebe. JURZITZA (1987) weist darauf hin, dass viele Monokotyle Sklerenchymfasern unter der Epidermis oder entlang der Leitbündel besitzen. Diese Sklerenchymstrukturen sind im Schilfhalm typische

Festigungselemente. Der in Fig. 6 eingetragene "innere sklerenchymatische Festigungsring" kommt nach RODEWALD-RUDESCU (1974) selten vor und ist in den Fig. 7 und 8 auch nicht als lignifizierte Sklerenchymstruktur erkennbar. Die Verholzung beruht auf der Einlagerung von Holzstoffen (Ligninen) in das Cellulosegerüst der Zellwände, wobei die Wandschichten nicht selten erheblich aufquellen. Die Lignine sind Mischpolymerisate verschiedener Abkömmlinge des Phenylpropans, die im Gegensatz zu den fadenförmigen Cellulosemolekülen reich verästelt untereinander zu einem einzigen Riesenmolekül vernetzt sind. Das Lignin, das nach STRASSBURGER (1983) mengenmässig nach der Cellulose die wichtigste organische Substanz in der Natur darstellt, entsteht durch dehydrierende Polymerisation der drei folgenden Alkohole: Coniferyl-, Sinapyl- und Cumarylalkohol.

Die Zonen der Sklerenchymschichten im Halm und die Gewebe der verholzten Zellstrukturen lassen sich gut miteinander vergleichen (Fig. 6-8). Da auch das Leitbündelxylem, welches neben der Wasser- und Nährsalzleitung Stützfunk-

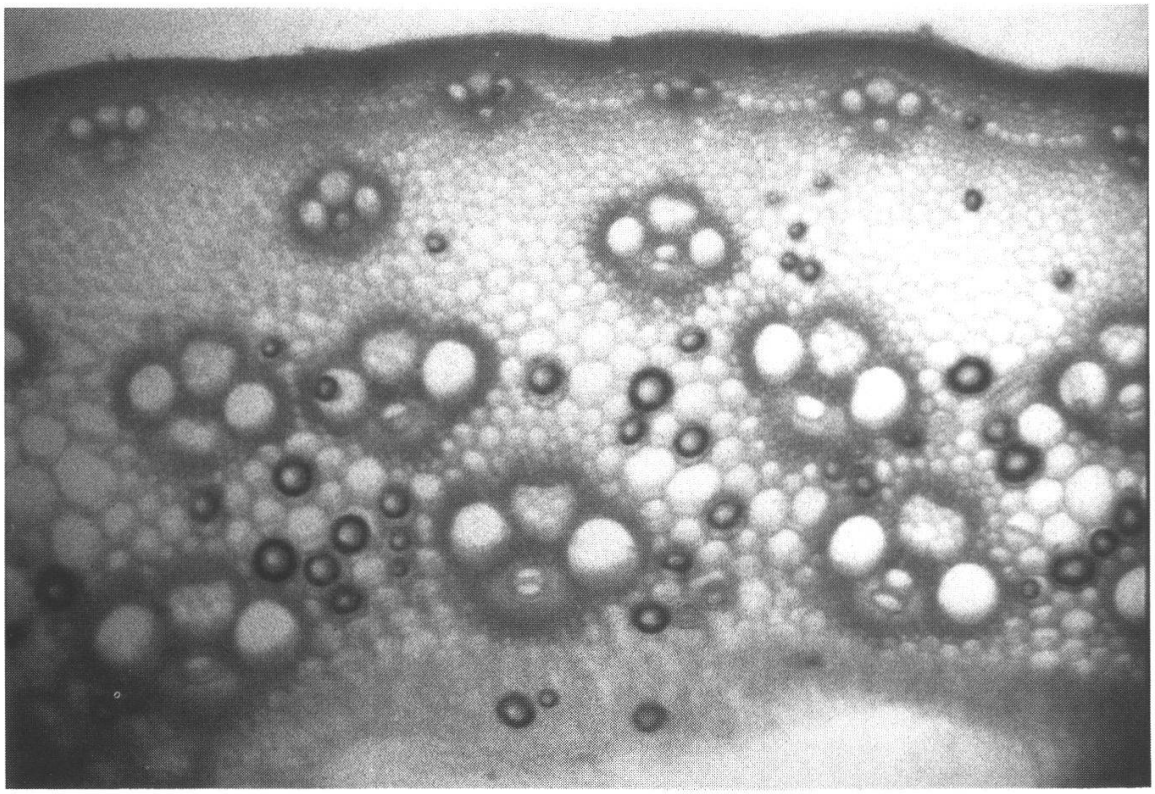

Fig. 7. Dünnschliff durch Stengelinternodien (quer) von *Phragmites australis*. Ligninfärbung mit Phloroglucin/ $HCl_{konz.}$ Vergrösserung = 145 x.
Thinly-ground section of a stalk-internodium (cross-section) of Phragmites australis. The dyeing of lignin with phloroglucine/ $HCl_{conc.}$ Enlarged 145 x.

tionen übernimmt, Lignin enthält, kann durch die Ligninfärbung ein Grossteil der Halmverstärkungselemente erfasst werden. Nach BRAUNE et al. (1983) erhöht im übrigen die Verholzung, also die Lignifizierung der Gewebe, die Druckfestigkeit und reduziert gleichzeitig die Elastizität, ohne dadurch die Wasserdurchlässigkeit durchs Gewebe aufzuheben.
In Anbetracht dessen, dass für die Sklerenchymstrukturen keine geeignete, spezifische Färbung existiert, wurden in der vorliegenden Arbeit die mechanischen Festigungsgewebe durch eine Ligninfärbung nachgewiesen, bzw. es wurde ein grosser Teil der Stützorgane mit dieser Methode erfasst.

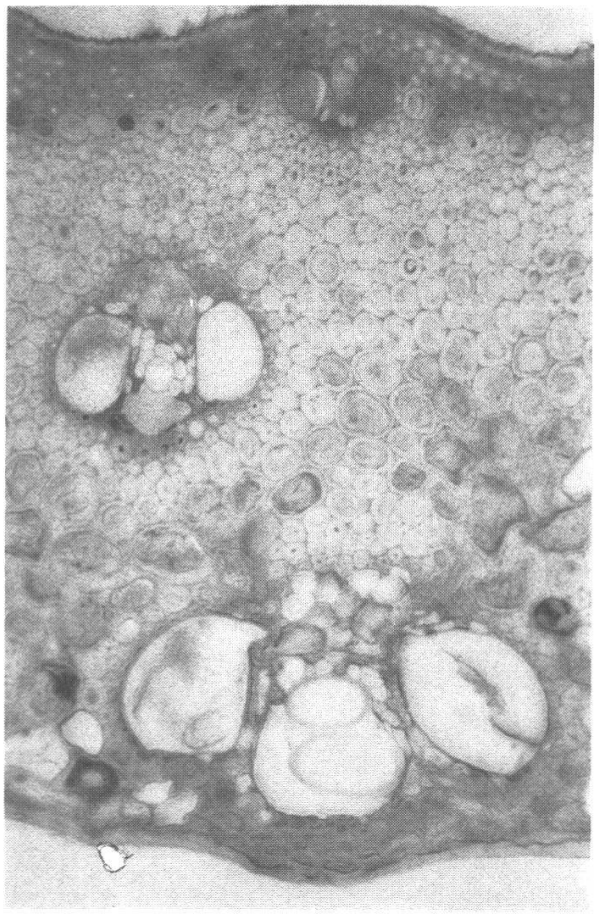

Fig. 8. Dünnschliff durch die Stengelinternodien (quer) von *Phragmites australis*. Ligninfärbung mit Phloroglucin/$HCl_{konz.}$. Vergrösserung = 310 x.
Thinly-ground section of a stalk-internodium (cross-section) of Phragmites australis. The dyeing of lignin with phloroglucine/$HCl_{conc.}$. Enlarged 310 x.

2.3. PARASITENBEFALL (ZIGARRENBILDUNG)

Am Schilf treten viele Schädlinge und Krankheiten auf. Allein 50 verschiedene Pilzarten befallen Halme, Blätter, Blüten und Früchte von *Phragmites australis* (HEGI 1983). Meistens führen aber die Pilzkrankheiten nur zu geringen Krankheitssymptomen. Unter den tierischen Schädlingen fallen die rund acht "Gallen" erregenden Insekten auf (HÜRLIMANN 1951). Weit verbreitet unter ihnen ist die Diptere *Lipara lucens* Meigen, die an der Sprossspitze eine zigarrenförmige Galle, eine "Zigarre", verursacht (Fig. 9 und 10). Nach dem Befall kann sich der Halm in diesem Abschnitt nicht mehr strecken, weil die obersten Blattscheiden verkleben (WAITZBAUER 1970). Eine Blütenrispe kommt in der Folge auch nicht mehr zur Entwicklung (vgl. GAYEWSKAJA 1955 mit Angaben zu weiteren tierischen Schilfschädlingen, sowie Hock und ELSTNER 1988 mit Angaben zu Schadwirkungen von Parasiten auf Pflanzen).

Fig. 9. "Zigarrenschilf" in Altenrhein (Dezember 1987). Links im Bild: eiserne Feldmarkierung.
"Cigar-reed" in Altenrhein (December 1987). On the left-hand side: iron sign post .

Fig. 10. Zigarrenbildung anstelle der Schilfblütenrispen in Altenrhein (Dezember 1987).
The formation of cigars instead of reed-panicles in Altenrhein (December 1987).

Über weitere biotische Einflüsse auf das Schilf wie Tierfrass, z.B. durch Schwäne (JESCHKE 1976), vermehrte Bakterieninfektionen und verstärkten Pilzbefall als Folge der Eutrophierung und der Veränderung der Stoffkreisläufe (KLÖTZLI 1980 und CAMPELL 1977) ist schon einiges bekannt.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. UNTERSUCHUNGSGEBIETE

3.1.1. Versuchsfeld Altenrhein/SG

3.1.1.1. Geographische Angaben und Schutzmassnahmen

Das in dieser Arbeit untersuchte Schilfmaterial stammt vom Südostufer des Bodensees (Gemeinde Altenrhein/SG; siehe Fig. 11, 14, 19) aus einer Schilfröhrichtgesellschaft (*Phragmitetum communis*). Die artenarme Pflanzengesellschaft von ca. 170 ha Fläche wird hier von *Phragmites australis* beherrscht. Dieses *Phragmitetum* ist mit seiner Uferlinie, die aus südsüdwestlicher nach nordnordöstlicher Richtung führt, den vom See her wehenden z.T. heftigen Winden und Stürmen aus West und Nord stark ausgesetzt.
Auf der Landseite und im östlichen Teil geht die Röhrichtgesellschaft von Altenrhein in ein Pseudoröhricht mit viel *Phalaris arundinacea* L. über. Das Schilfröhricht dieses Bodenseestandortes ist als Zeiger für stark schwankende Wasserstandsverhältnisse (Schwankungsbereich bis 3 m; die Differenz zwischen dem mittleren Hoch- und Niederwasserstand beträgt 1.6 m) und durch die flache

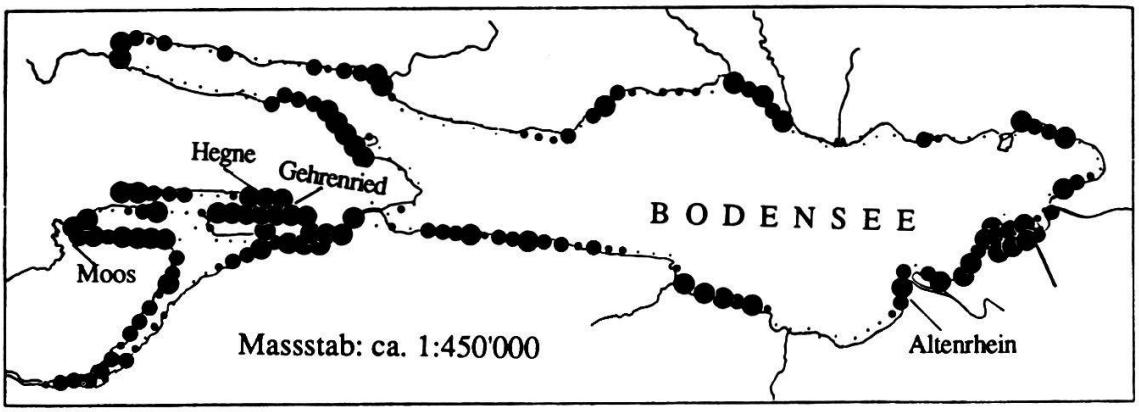

Fig. 11. Röhrichtgesellschaften (*Phragmitetum communis*) des Eulitorals am Bodensee und Lage der Schilfstandorte.
Lineare Ausdehnung des *Phragmitetums*: · fehlend; • < 10%; ● 10-50%; ● > 50% der Uferlinie einnehmend (nach LANG 1973, ergänzt).
Reedbed communities (Phragmitetum communis) of the eulitoral on the Bodensee (cf. LANG 1973, complemented) and reed positions.
Linear extension of Phragmitetum: · missing; • < 10%; ● 10-50%; ● > 50% of lakeside grown (cf. LANG 1973, supplemented).

Uferbank charakteristisch (LANG 1973); es gehört nach RUTTNER (1962) dem Eulitoral an, welches während des sommerlichen Hochwasserstandes überschwemmt wird und beim Niederwasserstand im Winter trocken liegt (Fig. 12 und 13).

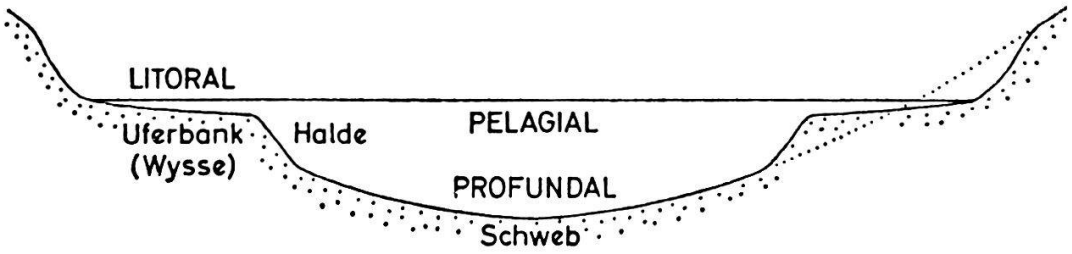

Fig. 12. Morphologie des Bodenseebeckens und der Lebensräume im See (nach LANG 1968).
Morphology of the Bodensee basin and the habitats in the lake (cf. LANG 1968).

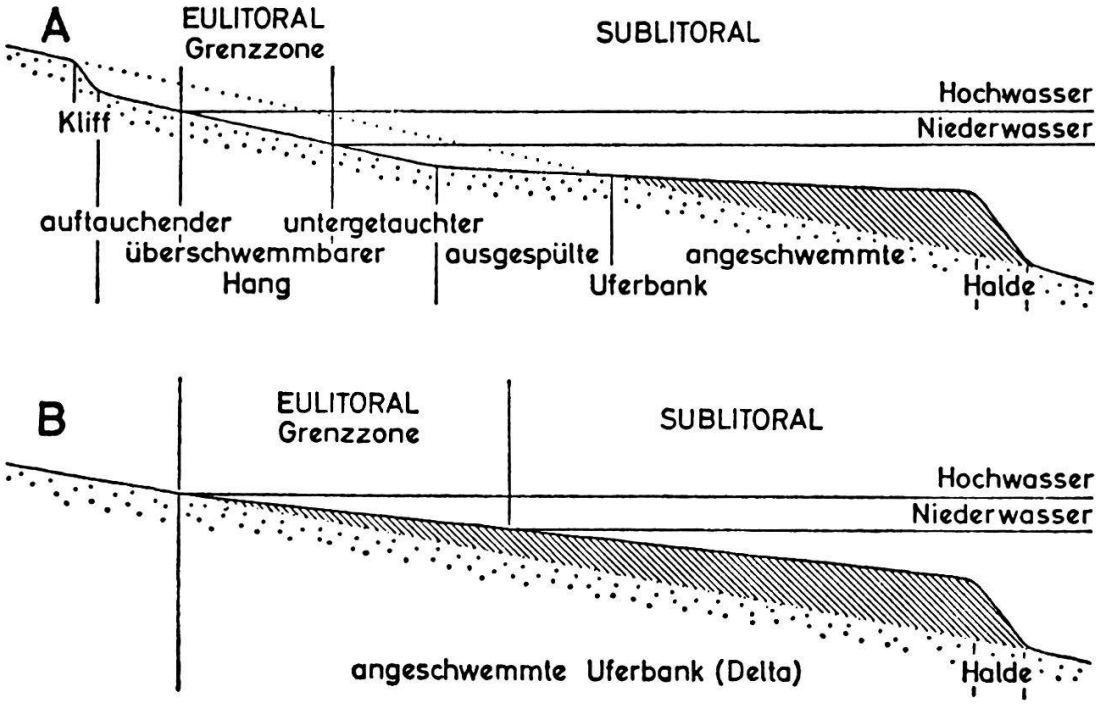

Fig. 13. Morphologische und ökologische Standortsgliederung im Uferbereich (schematisch) (nach LANG 1973).
Morphological and ecological structure of locations on the lakeside (rough outline) (cf. LANG 1973).
A: Abtragungs- Abrasionsufer - *abrasion lakeside*
B: Anschwemmungs- oder Akkumulationsufer (Flussdelta) - *accumulation lakeside (river-delta)*
Punktierte Linie: Ursprünglicher Uferverlauf - *Dotted line: original shore*

Fig. 14. Seefront des Schilfgebietes von Altenrhein am 15.2.89 (Wassertiefstand). Im Vordergrund: Röhrichtsperre.
Lake-front of the reed-area of Altenrhein on February 15, 1989 (low water). In the foreground: reedbarrage.

Die Schilfzone von Altenrhein wurde über Jahre hinweg vom Geobotanischen Institut der ETH Zürich beobachtet und erforscht, und verschiedene Untersuchungsprojekte kamen hier zur Durchführung, z.B. Einzäunungsversuche von Schilfflächen nach KLÖTZLI (1973) sowie KLÖTZLI und ZÜST (1973a).
Vor diesem Uferabschnitt errichtete man im Winter 1983/84 eine bewegliche (schwimmende) Röhrichtsperre (Fig. 14), welche das Treibzeug vom Schilf möglichst fernhalten soll (BINZ 1989). Die schwimmende (eigens für dieses Gebiet von der "Schilfgruppe" der ETH Zürich geplante und konzipierte) Konstruktion eignet sich für Gewässer mit grossen Wasserstandsschwankungen. Sie ist von der Ortsgemeinde Altenrhein auf Empfehlung des Geobotanischen Instituts der ETH in Auftrag gegeben und erbaut worden. Die Konstruktion der Anlage basiert auf dem Pilotversuch in Triboltingen/TG am Bodensee-Untersee. Die Anlage hält das Treibgut auf und hat den starken Beanspruchungen bis heute standgehalten. BINZ (1989) weist darauf hin, dass ein solcher schwimmender Zaun nicht als Wellenbrecher eingesetzt werden kann; der Dämpfungseffekt liegt bei maximal 20%. Die Errichtung von Röhrichtsperren setzt aber voraus, dass das angeschwemmte Treibzeug periodisch entfernt wird (BINZ und KLÖTZLI 1978, BINZ 1989); nur so erzielt die Anlage die gewünschte Schutzwirkung.

Dank der initiativen Naturschutztätigkeiten der Ortsbürgergemeinde von Altenrhein/SG und deren Präsidenten sind sowohl die Kontrollgänge als auch die regelmässige Reinigung der schwimmenden Zäune vom Getreibsel gewährleistet.

3.1.1.2. Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet von Altenrhein

Da der Wind die Hauptursache der direkten oder indirekten mechanischen Belastung des Röhrichts ist, werden im folgenden einige Angaben zur Windsituation im Versuchsgelände gemacht. HUSS (1975) hat die Windverhältnisse in der Bodenseeregion untersucht und wegen der Verschiedenheiten im Landschaftscharakter das Gesamtgebiet in drei Bereiche eingeteilt: Überlingersee, Obersee bis zur Linie Altenrhein-Wasserburg und Lindau-Bregenzer-Bucht mit Rheinmündungsgebiet. In dieser Unterteilung gehört das Altenrheiner Untersuchungsgebiet zum Südostufer des Oberseegebietes, da sich hier der aus südlicher Richtung einfallende Rheintalabwind nicht mehr so stark auswirken kann. Die nächstgelegene Windmessstation des mittleren Seeabschnittes liegt bei Horn/TG, 6.5 km W von Altenrhein. Die Häufigkeiten der Windrichtungen im Tagesablauf für Horn sind in Fig. 15 anschaulich dargestellt. In Fig. 15 ist die Tageszeit in der Horizontalen aufgetragen, die Windrichtungen in der Vertikalen, wobei die Nordrichtung den oberen und unteren Bildrand begrenzt. In den dunkel angelegten Feldern bleibt die Windhäufigkeit unter 2%, sie schreitet von Kurve zu Kurve um

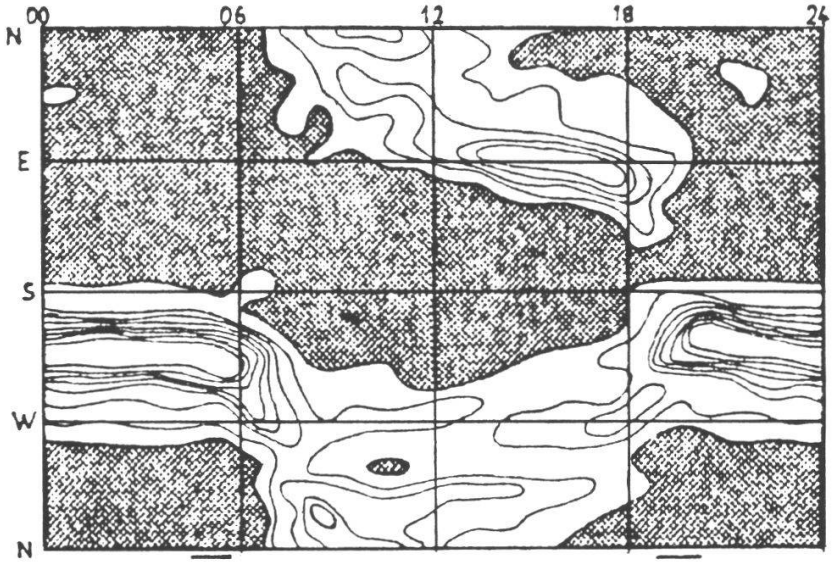

Fig. 15. Isoplethen der Windrichtungen im Tagesgang für Horn/TG (nach HUSS 1975).
Isopleths of the wind-directions in the course of the day for Horn/TG (cf. HUSS 1975).

2% fort, so dass die Maxima von den Kurvenscharen umhüllt sind. Die Zeiten der Sonnenauf- und -untergänge sind durch kräftige Linien unter dem unteren Bildrand gekennzeichnet.
Die Darstellung umfasst die Windverhältnisse der Sommermonate Juni bis August in Vierteljahresmitteln wiedergegeben, da sie die charakteristischen Züge der tagesperiodischen Zirkulationen, die bei weitem vorherrschen, am deutlichsten zeigen (HUSS 1975). Für Horn ist das nächtliche Häufigkeitsmaximum eng auf SW beschränkt. Am Morgen wendet sich die Richtung rasch über NW nach N bis NE hin, während nach Mittag reine Ostwinde überwiegen.
BINZ (1989) zeigt mit seinen "Richtungsvektoren für das Windfeld vor dem Versuchsfeld in Altenrhein", dass die grössten Kräfte von den Wellenbelastungen her aus nordwestlicher Richtung aufs Versuchsgelände von Altenrhein einwirken.

3.1.2. Schilfstandorte am Bodensee-Untersee

Weiteres Schilfmaterial stammt aus dem Euliteral von den Ufergebieten des Bodensee-Untersees der Gemeinden Hegne und Moos sowie des Gehrenriedes (alle Landkreis Konstanz, Fig. 11). In den Schilfgebieten von Moos und vom Gehrenried hat OSTENDORP (1988, 1989) Untersuchungen zum Nährstoffgehalt der Sedimentoberschichten durchgeführt. Dabei wurden mitunter die gesamte organische Substanz, der Gesamtstickstoff und der Gesamtphosphor gemessen. In den (nach OSTENDORP 1989) "naturnahen" Schilfflächen des Gehrenriedes waren die Nährstoffmesswerte wesentlich niedriger als im Schilfgebiet von Moos (Tab. 2). Verschiedene physikalische und chemische Untersuchungen zum Schilf und Wasser dieses Gebietes von OSTENDORP (1981, 1983, 1986 und 1987) und SCHRÖDER (1973, 1976, 1979 und 1987) ergänzen die oben genannten Sedimentuntersuchungen.

3.2. SCHILFMATERIAL

3.2.1. Schilf von Altenrhein/SG

Das Material für die morphologischen Erhebungen und Ausmessungen der Jahre 1978/79 stammt aus den Schilfbeständen des Bodenseeufers vor Altenrhein. Der Bewirtschaftung dieser materialliefernden Schilffläche wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt (Fig. 16-18), indem man auf eine möglichst gleichblei-

bende Feldereinteilung (Mäh-, Brand-, und unbewirtschaftete Zone) während der gesamten Untersuchungsperiode achtete; die unbewirtschaftete Zone wird hier auch als "unbeeinflusste" oder "ungeschnittene" Schilffläche bezeichnet. Wie sich die Änderungen in der Bewirtschaftung im Detail auf die Umweltbedingungen von *Phragmites australis* auswirken, ist nicht bekannt. Es war nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit auf diese mikroklimatischen und ökophysiologischen Untersuchungen einzugehen.
Zum Schutz vor Frost und gegen die mechanischen Einflüsse des Wellenganges und des Treibgutes der uferseitigen gebrannten und gemähten Schilfflächen blieb ein Röhrichtstreifen von einer Tiefe von rund 5-15 m unbeeinflusst stehen. Einen solchen Schutzgürtel forderten für die exponierte Seeseite des Schilfröhrichts KLÖTZLI (1974), KLÖTZLI und ZÜST (1973a) sowie KRISCH et al. (1979).
Die gezielten, winterlichen Abbrennaktionen haben in den Jahren 1975 bis 1979 und auch in den Achzigerjahren unter Berücksichtigung der Witterung und der Trockenheit des Schilfes jeweils zwischen Anfang Februar und Mitte März stattgefunden. Es wurde darauf geachtet, dass die Vegetation noch in der winterlichen Ruhe war und noch keine Sprosse trieben. Auch KOVACS (1976) forderte für die *Phragmites*-Mahd, dass sie am Ende der Vegetationsperiode oder im Winter erfolgen müsse, da sonst die Rhizome stark geschwächt würden.
Unmittelbar vor dem Brennen wurden mit der Sense die vorbestimmten Mähflächen und -schneisen geschnitten, damit das Feuer beim Abbrennen der gewünschten Schilfflächen nicht auf andere Gebiete übergreifen konnte. Es war bei Föhnlagen oft recht schwierig, den Schilfbrand am richtigen Ort zu legen und das Feuer unter Kontrolle zu halten (Fig. 18). Das geschnittene Schilfmaterial wurde aus der Versuchsfläche herausgetragen, um eine in der Folge entstehende zusätzliche Düngung oder Getreibselbildung zu verhindern.
Ebenfalls aus den Beständen des Gebietes von Altenrhein stammt das Schilfmaterial, welches für die folgenden Ligninuntersuchungen diente:

a) Abhängigkeit des Ligningehaltes von der Bewirtschaftung (Mahd und Brand im Vergleich mit ungeschnittenem Schilf)
b) Ligningehalt in verschiedenen Internodien (vertikale Ligninverteilung)
c) Ligninverteilung im Halmquerschnitt (Ligningehalt in den vier Himmelsrichtungen).

Die Schilfhalme, die in den Untersuchungen b) und c) verwendet worden sind, stammten aus einer Novemberernte. Zur Konservierung des Materials wurden die Internodienstücke in 80%-iges Aethanol gelegt, so dass die Ligninmessungen später ausgeführt werden konnten.

Fig. 16. Altenrhein: nicht bewirtschaftete Schilffläche [II] (Februar 1978)
Untouched reed-area [II]

Fig. 17. Altenrhein: Mähfläche [V] (Februar 1978)
Mown area [V]

Fig. 18. Altenrhein: Brandfläche [IV] (Februar 1978)
Burnt area [IV]

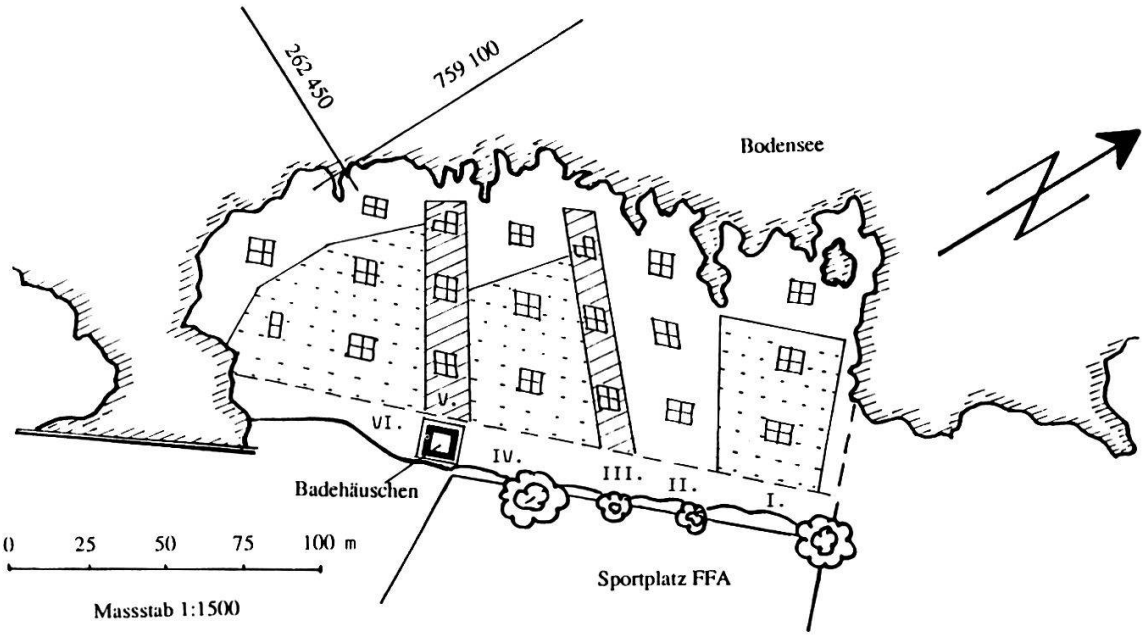

Fig. 19. Bewirtschaftung des Schilfgebietes Altenrhein/SG (1975-79), Sektor D*.
Die Sektorenbezeichnung D* stammt aus früheren Versuchen (KLÖTZLI und ZÜST 1973a,b und BINZ 1989). Die römischen Zahlen I-VI bezeichnen die Reihenfolge der Bewirtschaftungsfelder innerhalb des Sektors D*.
The management of the reed-area of Altenrhein/SG (1975-1979), sector D.*
The indication D originates from earlier experiments (KLÖTZLI und ZÜST 1973a,b und BINZ 1989). The Roman numerals I-VI denote the order of the treated fields inside sector D*.*

26 Brandflächen - *26 burnt plots*
22 gemähte Flächen - *mown plots*
28 ungeschnittene Flächen - *28 untouched plots*
Entnahmestellen - *plots considered*

3.2.2. Schilf vom Bodensee-Untersee

Das Material für die Bestimmung der Ligninänderungen während des Jahresablaufs in den Schilfhalmen stammt aus den Beständen des Bodensee-Untersees aus der Gemeinde Hegne. Zu diesen Beständen existieren keine speziellen Sedimentnährstoffdaten.
Für die Abklärungen des Ligningehaltes in "nährstoffreicherem" und "nährstoffärmerem" Milieu wurde das Material dem Schilfröhricht von Moos und vom Gehrenried entnommen. Die Nährstoffdaten der Sedimentoberschichten, auf welchen die "naturnahen" Bestände vom Gehrenried wachsen, liegen weit unter denen von Moos (Tab. 2). In der vorliegenden Arbeit werden die naturnahen Standorte vom Gehrenried als "oligotroph" und die nährstoffreicheren Schilfstandorte von Moos als "eutroph" bezeichnet.

Tab. 2. Nährstoffgehalt der Sedimentoberschichten in einem naturnahen und nährstoffreicheren Schilfbestand am Bodensee-Untersee (nach OSTENDORP 1989).
Nutritve content of the sediment top-layers in a natural and fairly eutrophic reed-area on the Bodensee-Untersee (cf. OSTENDORP 1989).
TS = Trockensubstanz - *dry substance* FG = Frischgewicht - *fresh weight*

Entfernung vom seew. Schilfrand (m)	Sedimentmasse (kg TS/m²)	Wassergehalt (% d. FG)	Organische Substanz (% d. TS) (kg/m²)	Gesamtstickstoff (% d. TS) (g/m²)	Gesamtphosphor (% d. TS) (g/m²)
Naturnahe Fläche GEHRENRIED: Transsekt GE III (Entnahme am 10.4.1982) Sediment - Festsubstanz (0-2.5 cm Oberschicht)					
-6.0	7.34	36.30	3.400	0.170	0.017
			0.251	12.500	1.250
0.0	8.37	36.80	2.700	0.170	0.017
			0.224	14.200	1.420
6.0	6.13	40.10	3.500	0.210	0.023
			0.214	12.900	1.410
12.0	7.36	41.00	4.200	0.210	0.023
			0.308	15.500	1.690
18.0	7.51	44.10	4.200	0.240	0.028
			0.315	18.000	2.100
24.0	6.98	44.10	4.700	0.290	0.031
			0.329	20.200	2.160
30.0	8.94	40.10	4.100	0.220	0.021
			0.365	19.700	1.180
Nährstoffreiche Schilffläche MOOS: Transsekt MO VIII (Entnahme am 10.12.1981) Sediment - Festsubstanz (0-2.5 cm Oberschicht)					
-4.8	8.82	nicht bestimmt	3.000	0.180	0.020
			0.260	15.900	1.760
0.0	6.54		9.800	0.420	0.015
			0.640	27.600	0.480
4.8	1.25		47.800	2.180	0.164
			0.600	27.300	2.050
9.6	0.95		49.600	2.390	0.166
			0.470	22.700	1.580
14.4	1.12		53.900	2.380	0.161
			0.600	26.700	1.800
19.2	1.36		56.700	2.520	0.161
			0.770	34.300	2.190
24.0	1.45		52.800	2.260	0.135
			0.770	32.800	1.960
28.0	1.54		49.900	2.240	0.116
			0.770	34.500	1.790

3.3. METHODEN

3.3.1. Morphologische Schilfaspekte der Erhebungen 1978/79

HÜRLIMANN (1951) betont die Wichtigkeit der Beobachtung der periodischen Erscheinungen im Leben einer Pflanze für die Abklärung ihrer Autökologie. Dies ist aber auch für die Konkurrenzbeziehungen am Standort und für die Lebensgeschichte eines ganzen Pflanzenbestandes von grosser Bedeutung. Bei den Erhebungen 1978 und 1979 ging es um die Untersuchung von phänologischen Aspekten an den Schilfpflanzen, die in verschieden bewirtschafteten Zonen aufgewachsen waren.
Im Untersuchungsgebiet von Altenrhein, das regelmässig einmal pro Winter von der einheimischen Bevölkerung gesäubert und vom Getreibsel gereinigt wird, lagen die 76 möglichst einheitlichen Entnahmestellen, welche je einen Quadratmeter gross waren. Dabei entfielen auf die Brandflächen 26, auf die Mähflächen 22 und auf die unbewirtschafteten Flächen 28 Entnahmestellen (Fig. 19).
Den morphologischen Untersuchungen an Schilfhalmen wurde das folgende Messprogramm zugrunde gelegt:

1. **Halmhöhen**: Auf einem "Messbrett" (Brett mit Metermass) wurden die Halmlängen bestimmt.
2. **Halmdurchmesser**: Mit einer Schublehre wurden die Halmdicken je auf ca. 10 cm (2. Internodium) und auf 120 cm Halmhöhe gemessen.
3. **Knotenzahl**: Die Anzahl Knoten pro Halm wurde ausgezählt.
4. **"Zigarrenbildungen" an der Sprossspitze**: Das prozentuale Auftreten der Zigarrenbildung in den Entnahmestellen wurde bestimmt. (Parasitenbefall und in der Folge Verkrüppelung der Blütenrispe in eine "Zigarre")
5. **Halmdichte**: Die Anzahl Halme pro Quadratmeter wurde festgestellt.
6. **Trockensubstanz**: Nach den Erhebungen (1-5) wurden die Schilfernten der Entnahmestellen für zwei Tage im ventilierten Trockenofen bei einer Temperatur von 85°C getrocknet und anschliessend gewogen (g/m^2).

Pro Entnahmestelle standen im Durchschnitt 33-54 Halme für die Untersuchungen zur Verfügung. Die unterschiedliche Zahl der Entnahmestellen (Tab. 3) kommt daher, dass trotz diverser Vorsichtsmassnahmen (schneiden von Mähschneisen, Berücksichtigung der Windverhältnisse, Feuerwache durch die Feuerwehr) die Brandflächengrössen nicht jedes Jahr genau identisch waren und dass die Schilfschnittflächen relativ klein blieben. Der Schilfschnitt mit Sense, Sichel und/oder Gertel war sehr aufwendig; zweimal wurden die vorbestimmten Flächen "von Hand" geschnitten. Auch als das Schilf mit einer Einachsermäh-

maschine gemäht worden war, verblieb das mühsame Entfernen des Schnittgutes.

3.3.2. Mikropräparationstechnik zur histologischen Untersuchung

3.3.2.1. Einführung

Während in früheren Arbeiten (RODEWALD-RUDESCU 1974, RAGHI-ATRI und BORNKAMM 1979, 1980) der Ligningehalt mit chemischen Extraktionsmethoden bestimmt wurde, erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Ligninmessung auf optischem Wege. Dazu war eine geeignete Mikropräparate-Herstellung und -Auswertung nötig.
Die Untersuchung lebender oder fixierter, biologischer Gewebe im Durchlichtmikroskop ist aber nur möglich, wenn die Präparate eine sehr geringe Dicke (in der Regel weniger als 1/10 mm) aufweisen. Die aufwendige Anfertigung von Feinschnitten wird erforderlich. Für die Herstellung dieser Schnitte sind grundsätzlich verschiedene Methoden bekannt.
Die Feinschnitte werden zur Hervorhebung der gesuchten Strukturen auf den Diapositiven von einem Bildanalyser automatisch gemessen und ausgewertet. So können die gesuchten anatomischen Ligninstrukturen erfasst werden.

3.3.2.2. Vorversuche

In vielen Voruntersuchungen wurden die für botanische Objekte üblichen Schnitt-Techniken auf ihre Eignung für Serienschnitte geprüft. Anfänglich gelang es, einige Handschnitte mit Rasierklingen herzustellen, die dünner waren als 50 µm. Leider war es aber nicht möglich, viele planparallele (gleichdicke) Schnitte anzufertigen. In der Regel waren die einzelnen Schnitte (über den Querschnitt) keilförmig auslaufend. Auch waren die Schnitte oft zerrissen und damit für die Weiterverarbeitung unbrauchbar. Zudem waren die Rasierklingen nach wenigen Schnitten stumpf und schnitten in der Folge zuwenig gut. Diese Arbeitstechnik war deshalb ungeeignet.
Eine weitere grössere Serie von Schilfhalm-Internodien wurde mit einem "Handmikrotom" geschnitten. Diese Technik zeigte ebenfalls unregelmässige Querschnitt-Dicken und in der Folge auch unregelmässig starke Anfärbungen in den einzelnen Schnitten. Auch waren wieder viele Schnitte zerrissen. Da nur regelmässig gefärbte Präparate mit dem Bildanalyser korrekt ausgewertet werden können, musste auch diese Präparationstechnik fallen gelassen werden.

In der Folge wurden Schnitte mit einem grossen "Schlittenmikrotom" hergestellt. Vorerst wurden die *Phragmites*-Internodienstücke im Wärmeschrank bei 60°C während 24 Stunden getrocknet und dann ca. 3-5 mm lange Stücke abgesägt. Diese wurden anschliessend gemäss WALTER (1961) während 15 Minuten mit Benzol durchtränkt, danach in ein warmes (35°C) Benzol-Paraffin-Gemisch gelegt (30 Minuten), und während 24 Stunden bei 57°C in geschmolzenes Paraffin gebracht. Anschliessend wurden von jedem Objekt Paraffinblöcke gegossen (2.5x2x1.5 cm), diese auf ein in die Objektklemme des Mikrotoms passendes Stabilitätsklötzchen aufgeschmolzen und mit dem Schlittenmikrotom geschnitten.
Die Weiterbehandlung der Paraffinschnitte erfolgte durch Strecken der Schnitte direkt auf fettfreien Objektträgern, welche auf eine Wärmeplatte gelegt wurden. Gemäss ROMEIS (1968) wurden die Schnitte getrocknet, in Xylol entparaffiniert und dann mit Phloroglucin/Salzsäure gefärbt. Erst jetzt konnten Mikrofotos hergestellt werden. Die Herstellung der Präparate mit dieser Technik erforderte einen enormen Zeitaufwand. Zudem wurden die Messer rasch stumpf, und die Dünnschnitte waren auch etwa zerrissen. Deshalb wurde auch diese Arbeitstechnik fallen gelassen.

3.3.2.3. Dünnschliffmethode

3.3.2.3.1. Vorgang

Auf der Suche nach anderen Präparationstechniken wurde bekannt, dass das Chemiefaserunternehmen Viscosuisse AG in Widnau für die Untersuchung ihrer Chemiefasern seit kurzem eine Dünnschlifftechnik einsetzt (ROHNER und BRUNNER 1983). In der Folge wurde dann abgeklärt, ob sich eine ähnliche Präparationsmethode auch für die Schilfhalmuntersuchung eignen könnte. Bereits in den Vorversuchen zeigte es sich, dass diese Dünnschliffmethode im grossen und ganzen den Bedürfnissen entsprach.
Auf einer Nassschleifmaschine (Struers AG, Kopenhagen) lassen sich Querschnitte von bis zu 10 µm (= Minimaldicke) durch den Schilfhalm herstellen. Dabei bleiben die Schilfschliffe plan und die Kantenschärfen ausgezeichnet. Die spröden und harten Gewebe werden mit dieser Technik kaum jemals zerrissen oder zerstört. Zudem ist die Probenverarbeitung rationeller als bei den herkömmlichen Methoden.
Uebersicht über die Arbeitsgänge:
1. Herstellung von Silikonkautschukformen gem. Fig. 20 und 21 (erzeugt aus Si-

likonkautschuk RTV-ME 622 A und RTV-ME 622 B (Schirmer AG).

2. Aussägen von *Phragmites*-Internodienstücken (1 cm lang).
3. Internodienstücke in senkrechter Lage in Araldit-Giessharz einbetten (inkl. orientieren) und Herstellung von quaderförmigen Giessblöcken (in der Kautschukform, Fig. 20).
4. Herausnehmen der ausgehärteten Quader ("Prüflinge") aus der Silikonkautschukform, Anschleifen auf der einen Seite und Abtrennen einer Scheibe von ca. 4 mm Dicke.
5. Aufleimen der Anschliffe auf Objektträger-Gläser.
6. Herstellen von Dünnschliffen.
7. Präparatfärbung, Aufnahme von Mikrodiapositiven und Auswertung.

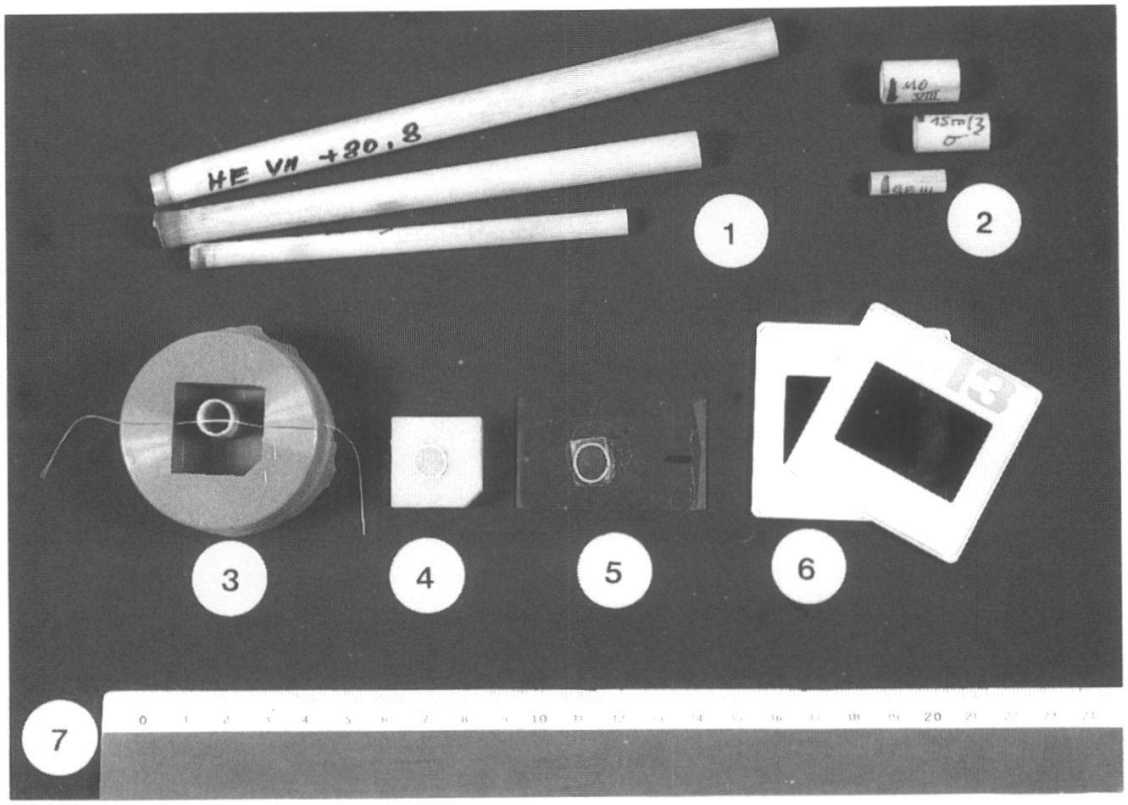

Fig. 20. Verarbeitung des Schilfmaterials bei der Dünnschliffmethode.
Experimentig with reed-material in the thin-grinding method.
1 = *Phragmites*-Internodienstücke - *pieces of Phragmites-internodia*
2 = Prüflinge (verkürzte Schilfproben) - *test-pieces (shorted reed samples)*
3 = Silikonkautschukform mit Prüfling - *mould of silicon-india-rubber with test-sample*
4 = abgesägter Giessharzblock mit eingebettetem Internodienstück
sawn resin block with piece of internodium embedded
5 = auf Objektträger aufgeleimter Internodien-Dünnschliff
thinly-ground internodium glued on slide
6 = Mikrodiapositive des Präparates - *micro-slides of prepared object*
7 = Vergleichsmassstab - *ruler for comparison*

3.3.2.3.2. Einbettung der *Phragmites*-Internodienstücke

Für die anatomischen Untersuchungen wurden Internodien zwischen dem siebten und neunten Knoten (meistens aus dem achten Internodium) ausgewählt und auf einer Proxxontrennmaschine (Eberhard AG) mit einem Diamanttrennscheibenblatt (senkrecht zur Wachstumsrichtung) Stengelstücke von zirka 1 cm Länge aus den zu untersuchenden Halmen herausgeschnitten. Diese wurden dann einzeln mit einem Araldit-Zweikomponentengiessharz (Astorit AG) in Silikon-Kautschukformen (Fig. 21) eingebettet.

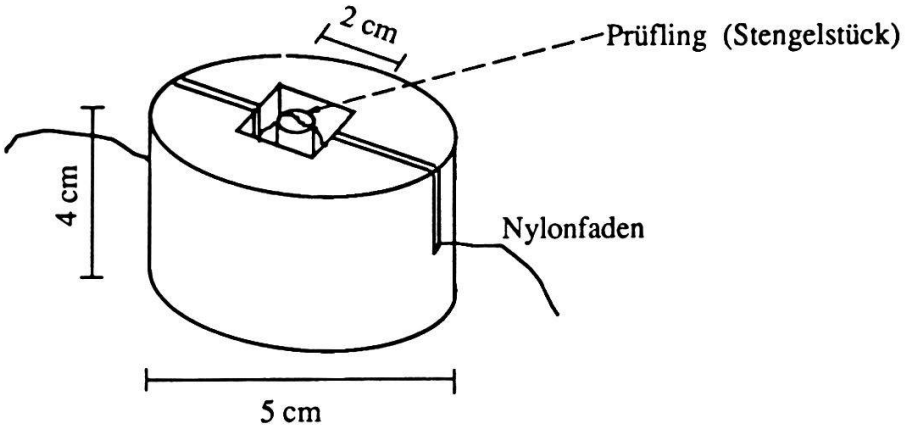

Fig. 21. Silikon-Kautschukform - *Mould of silikon-india-rubber*

Zur Herstellung des Zweikomponentengiessharzes werden Araldit D und Härter HY 956 im Verhältnis 10:2 Teilen gut vermischt; in einem Wegwerf-Plastikbecher wird das Giessharz eine Stunde stehengelassen, rührt in der Zwischenzeit einige Male um, bis eine schäumende, dickflüssige Masse entstanden ist. Nun wird ein wenig vom schäumenden Giessharz in die ausgestanzte Öffnung der Kautschukform gegeben, der Prüfling ins Giessharz gestellt, mit einem Nylonfaden in senkrechter Richtung von oben fixiert und dann das Stengelstück vollständig mit dem Einbettungsharz umgossen. Bei Zimmertemperatur härtet das Giessharz in 16 Stunden aus.
Dank der günstigen Konsistenz dringt mit dieser Methode das Einbettungsmittel nicht zu stark in die einzelnen Zell-Lumina und Hohlräume ein, und die anschliessende Färbung wird kaum mehr beeinträchtigt. Der quaderförmige, ausgehärtete Araldítblock mit dem Prüfling lässt sich nun leicht aus der Einbettungsform für die Weiterverarbeitung herausnehmen.

3.3.2.3.3. Dünnschliffherstellung

Der hergestellte Araldítblock wird zunächst mit der Struers-Nassschleifmaschine einseitig plan geschliffen. Dazu wird zuerst grobes, dann feines Schleifpapier (P 320-, dann P 1000-Struers Waterproof Silicon Carbide) verwendet. Hernach wird der Block 3-5 mm von der Schliffläche entfernt abgesägt und die angeschliffene Blockseite (unter zweistündigem Pressdruck) mit Araldit Rapide (Ciba-Geigy AG) auf einen fettfreien Objektträger geklebt. Die Orientierung des Schilfstückes bleibt bei diesen Arbeitsgängen gewährleistet.
Das Präparat gelangt in einen Struers-Dünnschliffhalter; die Haftung zwischen dem Objekt und dem Halter wird mit einem kleinen Tropfen Glycerin oder Öl erhöht. Mittels der Nassschleifmaschine wird zunächst wieder mit grobem, dann mit feinem Schleifpapier bei einer Tourenzahl von 600 Umdrehungen/Min. auf 40 µm plan geschliffen. Von Zeit zu Zeit wird im Mikroskop die Probendicke kontrolliert. Beim Schliff dringen oft Schilfrückstände in die Gewebeporen ein. Zur Entfernung der allfälligen Schleifspuren, die im Mikroskop sichtbar sind, kann das Araldítplättchen mit Hilfe einer Diamantpaste (Körnung 2.5 µm) poliert und dann im Ultraschallbad gereinigt werden. Nach der Dünnschliffherstellung wird das Präparat während 24 Stunden ausgetrocknet.

3.3.2.4. Präparatfärbungen

Zur Hervorhebung des Lignins (Holzstoff) in den Halmstrukturen wurden in Vorversuchen drei verschiedene Färbungen ausprobiert (BRAUNE et al. 1983). Mit Fuchsin-Pikrinsäure färbten sich die verholzten Zellwände rot an. Die Färbung war in Dauerpräparaten gut haltbar, und benötigte pro Präparat eine gute halbe Stunde Zeitaufwand. Die verholzten Zellwände wurden wenig intensiv, blassrot gefärbt.
Mit Safranin (1%-ig wässerig) lassen sich die verholzten Strukturen in wenigen Minuten rot anfärben. Die Färbung war aber im allgemeinen ebenfalls zu wenig intensiv und der Farbkontrast klein.
Am geeignetsten erwies sich die Phloroglucin/Salzsäure-Färbung, welche die verholzten Zellstrukturen in kurzer Zeit intensiv rot anfärbte. Diese Progressivfärbung ist eine sehr spezifische Ligninreaktion; sie ist in Dauerpräparaten leider nicht haltbar, dafür aber sehr kontrastreich. Für die Färbung tropft man (in Abweichung von den Literaturangaben) Phloroglucin (1% Phloroglucin in Äthanol abs., frisch angesetzt) auf die aufgeleimten Schilfpräparate und lässt wenigstens 20 Minuten einwirken. Dann gibt man Salzsäure auf das Präparat ($HCl_{konz.}$:H_2O=

1:1). Innerhalb von 10-30 Minuten färben sich die Präparate intensiv rot. Der Differenzierungsgrad der Färbung wird in einem Stereomikroskop (Wild AG) beobachtet und festgestellt. Mit Glycerin/Äthanol$_{abs.}$ (4:1) kann die immer intensiver werdende Färbung gestoppt oder wenigstens stark gehemmt werden, ohne dass die Kontraste dadurch vermindert werden. Nach Erreichen der gewünschten Farb-Differenzierung wird das Präparat mit einem Deckgläschen abgedeckt. Die Färbung bleibt nur während ein bis drei Stunden unverändert erhalten.

3.3.2.5. Herstellen von Mikrodiapositiven

Für die nachfolgenden Auswertungen im Bildanalyser wurden Mikrodiapositive bzw. (entwickelte) Fotofilmstreifen hergestellt, weil die angewendete Ligninfärbung nicht haltbar war. Mit einer Minolta-Spiegelreflexkamera, welche zusammen mit einem Einstellobjektiv auf das Mikroskop aufgesetzt und eingerichtet war, wurden die Aufnahmen gemacht. Der Kunstlichtfilm Kodak Ektachrom 50 Professional brachte mit der zur Verfügung stehenden Photographier-Einrichtung die besten Resultate.
Die Bildaufnahmen erfolgten bei offenem Fotoapparatverschluss über das Einstellobjektiv; dadurch konnten die durch die Kamera-Auslösung erzeugten Fibrationen und Bildunschärfen weitgehend vermieden werden.
Für die Mikroaufnahmen wurden jeweils jene Stellen des Halmquerschliffes gesucht, die einen mittleren Ligninanteil und eine relativ einheitliche Färbung aufwiesen (im "Nord- oder Ostsektor" finden sich die mittleren Ligninwerte). Für den Nachweis der Ligninverteilung über den Stengelquerschnitt erfolgten die Messungen in den Stengelsektoren der vier Himmelsrichtungen. Der genaue Dia-Aufnahmeort wurde dann visuell an einer Stelle bestimmt, wo die Färbung regelmässig erschien.

3.3.2.6. Auswertungen am Bildanalyser

Die ausserordentlich rasche Weiterentwicklung der Instrumente für die quantitative (und qualitative) Bildanalyse während der letzten Jahre hat es möglich gemacht, die Farben im Mikrodiapositiv (bzw. die gefärbten Strukturen im Präparat) direkt zu erfassen. Mit einer Sony-Farbkamera (Color Video Camera DXC-M3 AP) werden Farborte im Dia ausgewählt (Auswahl eines gefärbten Sektors aus dem Halmquerschnitt) und über das IBAS-Programm (= Interaktives Bildanalysen-System, Typ 2) in einem Zeiss-Kontron-Computer ausgewertet und berechnet.

Das Auswerte- und Mess-System gibt die Anteile der bestimmten, ausgewählten Farbflächen im Präparat an und drückt sie in Prozenten der Gesamtfläche des Präparatausschnittes aus. Die Diskriminierung der gewünschten Flächen erfolgt durch interaktive Wahl des Farbortes im Colorbild. Man überprüft die diskriminierten Bildgrenzen visuell aufgrund des erzeugten Pseudofarbbildes, das auf dem Bildschirm erscheint. An jedem Dia werden drei Messungen durchgeführt und daraus der arithmetische Mittelwert berechnet. Dies bedeutet, dass pro Halmquerschnitt insgesamt 12 Messungen vorgenommen werden (also je drei an der gleichen Stelle in den vier Himmelsrichtungen). Es ist vorteilhaft, wenn immer die gleiche Person am Bildanalyser arbeitet; die Messungen zeigen so weniger Abweichungen und werden genauer. Die Messstreuungen (an den gleichen Stellen) während eines Tages waren bei Arbeitsbeginn sehr gering (± 0-5%), abends vor Arbeitsschluss waren die Streuungen aber wegen der Ermüdung grösser (± 0-10%).

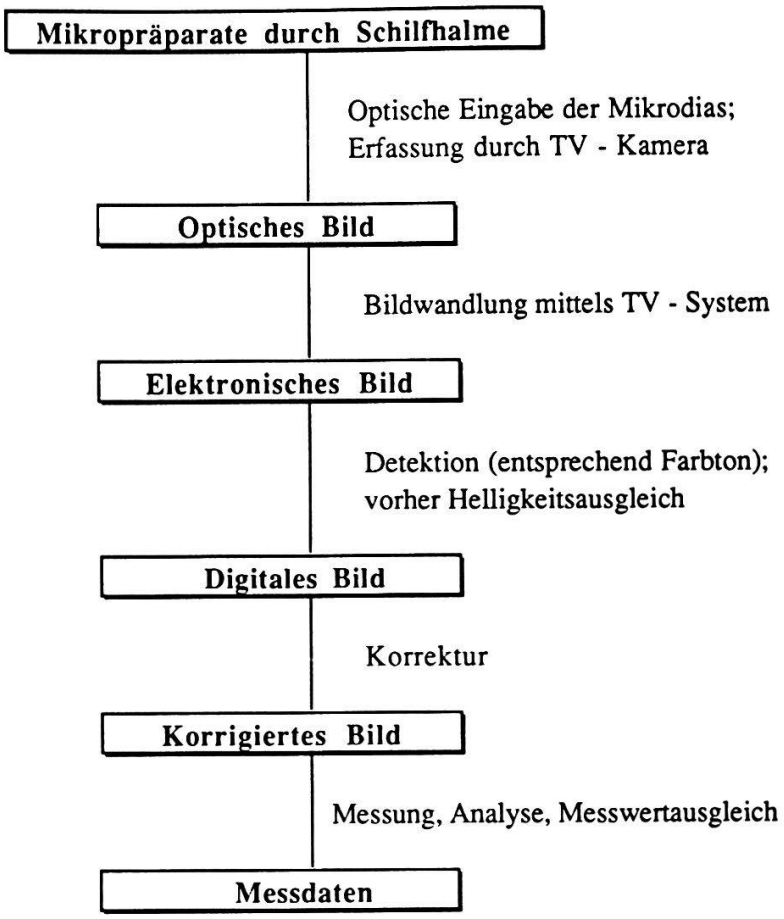

Fig. 22. Bildanalyserauswertungen (nach SELL 1978, verändert).
Picture-analyser results (cf. SELL 1978, altered).

Neben der quantitativen Bildanalyse können auch farbige und schwarz-weisse Computerbilder hergestellt werden .
Übersicht über die Auswertungen am Bildanalyser:
Die Arbeitsweise von vollautomatischen Bildanalysatoren ist in Fig. 22 schematisch dargestellt. Das Untersuchungsobjekt wird bildpunktweise abgerastert, und die gewünschten Objektstrukturen werden softwaremässig gemessen und ausgewertet.

3.3.3. Verteilung des Lignins im Stengelquerschnitt

Zur Abklärung des Ligningehaltes im Stengelquerschnitt wurde an jedem zu untersuchenden Schilfhalm bei dessen Ernte die Ostrichtung mit einer Marke (Papiermarke und Bezeichnung mit wasserfestem Stift) versehen. Die Markierung am Einzelhalm war im Feld einfach anzubringen, da die Schilfstengel im Untersuchungsgebiet von Altenrhein wegen der vom See her wehenden Westwinde und wegen des Wellenschlages nach Osten geneigt sind. Die Richtungsorientierungen an den Halmen blieben auch während der Präparation (beim Dünnschleifen, Färben, Photographieren und elektronischen Auswerten) erhalten.
Für die Messung des Ligningehaltes des Stengelquerschnittes wurden die Ligninmengen in den Sektoren der vier Himmelsrichtungen bestimmt. Bei den anderen Messprogrammen, in denen der Ligningehalt allgemein in den Halminternodien gesucht wurde, erfolgte die Messung jeweils dort, wo eine mittlere Ligninmenge sichtbar war (nördlicher oder östlicher Stengelsektor).

4. RESULTATE

4.1. MORPHOLOGISCHE SCHILFASPEKTE IN DEN DREI BEWIRTSCHAFTUNGSZONEN

Die Erhebungen von 1978 und 1979 in den verschieden bewirtschafteten Schilfflächen in Altenrhein dienten einerseits dazu, eine Übersicht über die morphologischen Eigenschaften der Schilfhalme in diesem Gebiet zu gewinnen und andererseits einen Vergleich des Schilfwachstums in den drei Bewirtschaftungsformen anzustellen. In Tab. 3 sind die Durchschnittswerte der Schilfmessungen bzw. -untersuchungen von total 76 Entnahmestellen zusammengefasst. In den einzelnen Datenreihen standen pro Entnahmestelle zwischen 14 und 101 Halme pro Entnahmefläche zur Verfügung.
Die Auswahlflächen zeigten aufgrund der spontanen Beurteilung "vor Ort" für die entsprechende Bewirtschaftungszone einen typischen Aspekt.

Tab. 3. Morphologische Schilferhebungen von 1978 und 1979: Durchschnittswerte und Standardabweichungen (in Klammern: Anzahl Entnahmeflächen).
Morphological experiments on reeds from 1978 to 1979: average findings and standard deviations (in brackets: number of areas considered).

	nicht bewirtschaftet	gebrannt	gemäht
1. Anzahl Entnahmeflächen	28	26	22
2. Zigarrenbildung (%)	51.667±12.118 (27)	24.080±9.827 (25)	38.611±8.045 (18)
3. Halmdicke (mm) (0.1 m über Boden)	9.857±0.711 (27)	9.060±1.010 (20)	9.155±0.681 (17)
4. Halmdicke (mm) (1.2 m über Boden)	9.807±0.520 (27)	8.878±0.864 (20)	9.080±0.808 (17)
5. Halmhöhe (cm)	296.181±43.608 (27)	267.810±47.542 (20)	271.582±52.884 (17)
6. Knotenzahlen	18.148±3.411 (22)	17.797±2.633 (24)	18.127±2.885 (15)
7. Bestandesdichte (Anzahl/m^2)	32.789±10.411 (19)	45.500±13.875 (24)	54.111±8.804 (18)
8. Trockensubstanz (g/m^2)	1130.479±289.078 (19)	1281.379±186.892 (24)	1473.417±135.662 (18)

4.1.1. Zigarrenbildung (Parasitenbefall)

Die Erhebungen in Altenrhein zeigen, dass die Zigarrenbildung in den unbeeinflussten Schilfflächen bei über 50% aller Halme (ja an bestimmten Orten sogar bei über 80%) auftritt. In den gebrannten Zonen kommen diese Gallenbildungen nicht halb so häufig vor, und die Anzahl der Zigarrenhalme in den Schnittflächen nimmt eine Mittelstellung ein. Der statistische Vergleich in der Varianzanalyse (Tab. 4) zwischen den drei Bewirtschaftungsflächen (WEBER 1972 und GAGNON et al. 1986) zeigt hochsignifikante Unterschiede im Schädlingsbefall, der offensichtlich auf die unterschiedliche Bewirtschaftung zurückzuführen ist.

4.1.2. Halmhöhen, Halmdicken und Knotenzahlen

Die Messwerte für Halmhöhen und Halmquerschnitte (Fig. 24 und Tab. 5-7) korrelieren in den verschieden bewirtschafteten Schilfzonen insofern, als sie im nicht bewirtschafteten Gebiet um rund 7-9% höher liegen als in den anderen Zonen. Die tiefsten Werte wurden jeweils im gebrannten Gebiet gemessen.
Bei den Knotenzahlen pro Halm konnten trotz der unterschiedlichen Halmhöhe und Halmdicke für die drei Bewirtschaftungsformen keine signifikanten Unterschiede gefunden werden (Fig. 25, Tab. 8).

4.1.3. Halmzahlen und Trockensubstanz

Die Bewirtschaftung des Schilfes (Mahd und Brand) erhöhte die durchschnittliche Besiedlungsdichte der Schilfhalme bei gleichzeitiger Schwächung der Einzelstengel um 39% bzw. 65% (Tab. 3 und 9). Ebenfalls liegen die Werte für die Produktivität (Biomasse) bei den gebrannten und gemähten Flächen um rund 13% bzw. 30% signifikant höher als im ungeschnittenen Röhricht.
Die Trockensubstanzmengen sind in den einzelnen Bewirtschaftungsflächen recht unterschiedlich gross, und die Standardabweichungen schwanken gemäss Tab. 3 und 10 zwischen 9% im gemähten und 26% im nicht bewirtschafteten Gebiet. Diese Schwankungen lassen auf eine sehr unterschiedliche Umweltsituation schliessen.

Tab. 4. Varianzanalyse zu Insektenbefall und Bewirtschaftung (nach GAGNON et al. 1986)
Analysis of variance regarding infection with insects and management (cf. GAGNON et al. 1986).
Group 1= ungeschnitten - *uncut*, 2 = gebrannt - *burnt*, 3 = gemäht - *mown*

One Factor ANOVA X_1: Bewirtschaftung und Zigarrenbildung Y_1: Zigarren %

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	9879.254	4939.627	45.737
Within groups	67	7236.118	108.002	p = 1.0000E-4
Total	69	17115.371		

Model II estimate of between component variance = 2415.813

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	27	51.667	12.118	2.332
Group 2	25	24.08	9.827	1.965
Group 3	18	38.611	8.045	1.896

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	27.587	9.927*	45.734*	9.564
Group 1 vs. 3	13.056	10.883*	8.522*	4.128
Group 2 vs. 3	-14.531	11.056*	10.23*	4.523

* Significant at 99.9%

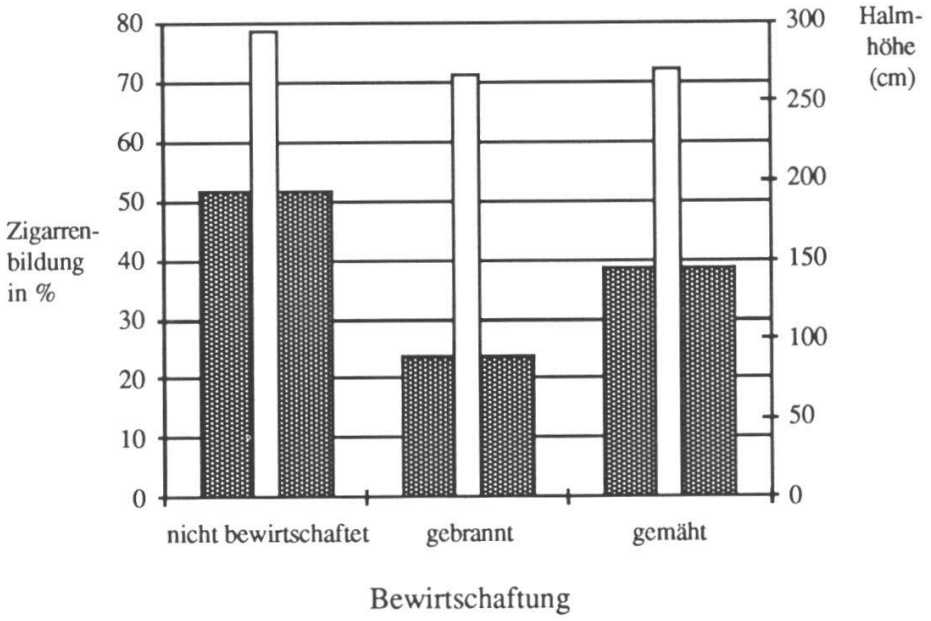

Fig. 23. Zigarrenbildung (%) und Halmhöhe in den drei Bewirtschaftungsflächen.
Formation of cigars (%) and stalk-height in the three management areas.

▩ Zigarrenbildung (%) - *formation of cigars (%)*
□ Halmhöhe (cm) - *stalk height (cm)*

Tab. 5. Varianzanalyse zur Halmhöhe in den drei Bewirtschaftungsflächen (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding stalk-height in the three management areas (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X1: Bewirtsch. Y3: Halmhöhe (cm)

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	11207.114	5603.557	2.493
Within groups	61	137135.643	2248.125	p = .0911
Total	63	148342.757		

Model II estimate of between component variance = 1677.716

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	27	296.181	43.608	8.392
Group 2	20	267.81	47.542	10.631
Group 3	17	271.582	52.884	12.826

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	28.371	27.974*	2.057	2.028
Group 1 vs. 3	24.599	29.358	1.404	1.676
Group 2 vs. 3	-3.772	31.28	.029	.241

* Significant at 95%

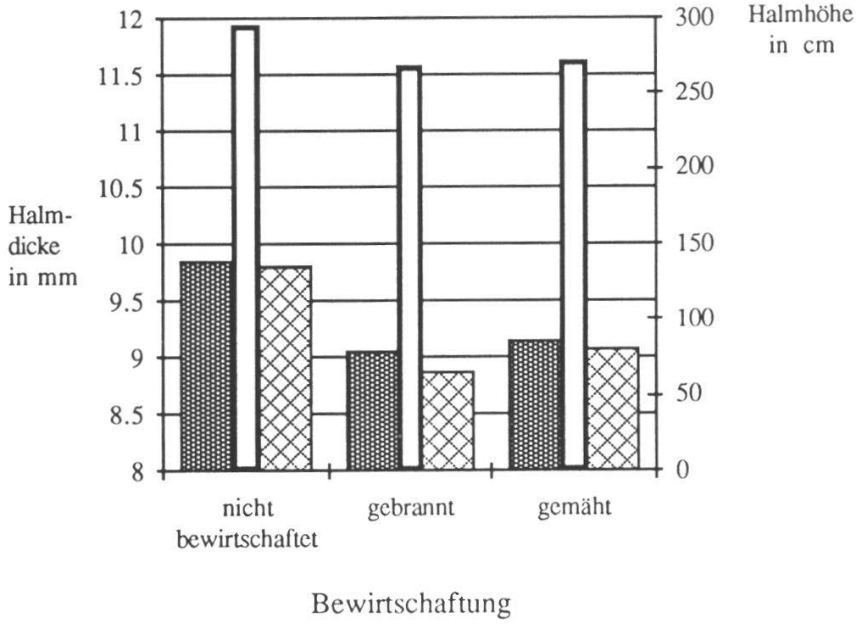

Fig. 24. Zigarrenbildung (%) und Halmhöhe in den drei Bewirtschaftungsflächen.
Formation of cigars (%) and stalk-height in the three management areas.
▩ Halmdicke (mm)/Boden - *stalk width (mm)/10 cm above ground*
▨ Halmdicke (mm) auf 1.2 m - *stalk width (mm)/1.2 m above ground*
□ Halmhöhe (cm) - *stalk height (cm)*

Tab. 6. Varianzanalyse zu Halmdicke (auf 10 cm über dem Boden) und Bewirtschaftung (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding stalk-width (10 cm above ground) and management (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: Bewirtsch. Y_1: Halmdicke Boden (10cm)

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	8.809	4.405	6.728
Within groups	61	39.938	.655	p = .0023
Total	63	48.747		

Model II estimate of between component variance = 1.875

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	27	9.857	.711	.137
Group 2	20	9.069	1.01	.226
Group 3	17	9.155	.681	.165

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	.788	.635*	5.442*	3.299
Group 1 vs. 3	.702	.666*	3.93	2.803
Group 2 vs. 3	-.085	.71	.051	.319

* Significant at 99%

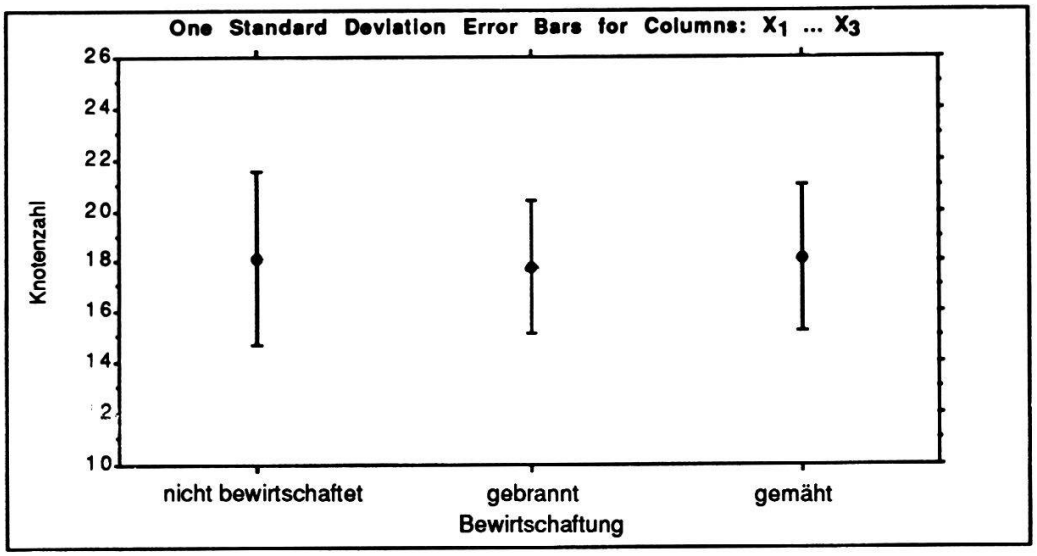

Fig. 25. Vergleich der Knotenzahlen in den drei Bewirtschaftungsflächen (nach GAGNON et al. 1968).
Comparison of numbers of nodes in the three management areas (cf. GAGNON et al. 1986).
x_1 = nicht bewirtschaftet - *not treated*, x_2 = gebrannt - *burnt*, x_3 = gemäht - *mown*

Tab. 7. Varianzanalyse zu Halmdicke (auf 1.2 m über dem Boden) und Bewirtschaftung (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding stalk-width (1.2 m above ground) and management (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: Bewirtsch. Y_2: Halmdicke 1,2m

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	11.281	5.64	10.869
Within groups	61	31.656	.519	p = 1.0000E-4
Total	63	42.936		

Model II estimate of between component variance = 2.561

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	27	9.807	.52	.1
Group 2	20	8.878	.864	.193
Group 3	17	9.08	.808	.196

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	.929	.735*	9.547*	4.37
Group 1 vs. 3	.727	.771	5.307	3.258
Group 2 vs. 3	-.202	.822	.361	.85

* Significant at 99.9%

Tab. 8. Varianzanalyse zu Knotenzahlen und Bewirtschaftung (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding number of nodes and management (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: Bewirtsch. Y_1: Anzahl Knoten

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	1.712	.856	.095
Within groups	58	520.324	8.971	p = .9091
Total	60	522.036		

Model II estimate of between component variance = -4.058

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	22	18.148	3.411	.727
Group 2	24	17.797	2.633	.537
Group 3	15	18.127	2.885	.745

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	.351	1.77	.079	.397
Group 1 vs. 3	.021	2.008	2.2048E-4	.021
Group 2 vs. 3	-.33	1.974	.056	.335

Tab. 9. Varianzanalyse zur Bestandesdichte in den drei Bewirtschaftungsflächen (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding density of growth in the three management areas (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X1: Bewirtschaftungsform Y1: Halmzahl pro qm

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	4281.654	2140.827	16.132
Within groups	58	7696.936	132.706	p = 1.0000E-4
Total	60	11978.59		

Model II estimate of between component variance = 1004.061

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	19	32.789	10.411	2.389
Group 2	24	45.5	13.875	2.832
Group 3	18	54.111	8.804	2.075

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	-12.711	12.262*	6.455	3.593
Group 1 vs. 3	-21.322	13.134*	15.832*	5.627
Group 2 vs. 3	-8.611	12.45	2.874	2.397

* Significant at 99.9%

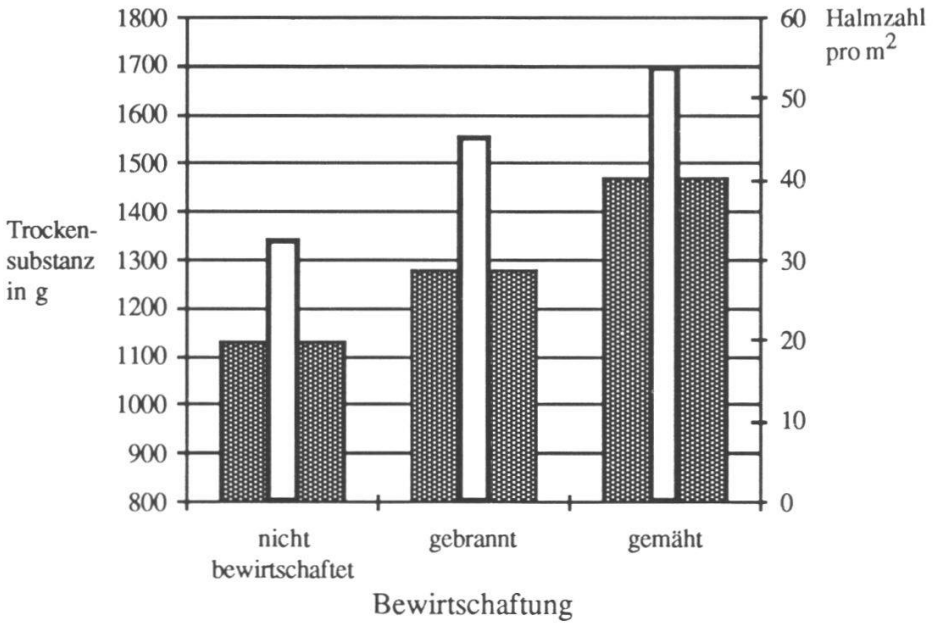

Fig. 26. Vergleich der Halmzahl und Trockensubstanz pro m^2.
Comparison of numbers of stalks and dry substance per square metre.
▩ *Trockensubstanz - dry substance*
□ Halmzahl pro m2 - *numbers of stalk per square meter treated*

Tab. 10. Varianzanalyse zur Trockensubstanz (Biomasse) in den drei Bewirtschaftungsflächen (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding dry substance in the three management areas (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: Bewirtschaftungsform Y_2: Trockensubstanz in 1 qm

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	1090759.614	545379.807	12.071
Within groups	58	2620422.696	45179.702	p = 1.0000E-4
Total	60	3711182.31		

Model II estimate of between component variance = 250100.053

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	19	1130.479	289.078	66.319
Group 2	24	1281.379	186.892	38.149
Group 3	18	1473.417	135.662	31.976

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	-150.9	173.844	2.672	2.312
Group 1 vs. 3	-342.938	186.207*	12.03*	4.905
Group 2 vs. 3	-192.037	176.519*	4.198	2.898

* Significant at 99%

4.2. LIGNINGEHALT IN ABHÄNGIGKEIT VON STANDORT UND BEWIRTSCHAFTUNG

Die Halmuntersuchungen im 6.-8. Internodium (auf einer Höhe von ca. 120 cm) zeigen, dass der Ligningehalt nicht standortabhängig ist; in den "eutrophen" Zonen wird zwar nach Fig. 27 gemäss diesen Untersuchungen im Durchschnitt leicht mehr Lignin aufgebaut als in den "oligotrophen"; diese Unterschiede zeigen aber keine Signifikanz (Tab. 11). Die leicht höhere Nährstoffkonzentration im Boden bewirkte demnach keine Verminderung des Ligningehaltes im Schilf des Bodensee-Untersees, wie dies von RAGHI-ATRI und BORNKAMM 1979 und 1980 bei hohen Stickstoffgaben in Laborversuchen für die äussere Sklerenchymringfläche und von KLÖTZLI 1971 allgemein für die Sklerenchymanteile nachgewiesen wurde.

Der Verholzungsgrad ist von der Bewirtschaftung abhängig (Fig. 28). Die gebrannten und gemähten Entnahmestellen produzierten wohl eine höhere Halmzahl und eine grössere Biomasse; die Einzelhalme dieser Flächen blieben aber

schlanker und niedriger und entwickelten 1-1.5% weniger Lignin als die Halme der nicht bewirtschafteten Flächen. Signifikant höhere Ligninwerte wurden zwar nur in den nicht bewirtschafteten Gebieten gefunden im Vergleich mit den Werten der Brandflächen (Tab. 12). Dies lässt den Schluss zu, dass die Stabilität der Halme in den unbeeinflussten Bereichen eher höher ist. Die geringste Stabilität (gemessen am Ligningehalt) zeigen die Halme der gebrannten Schilfflächen.

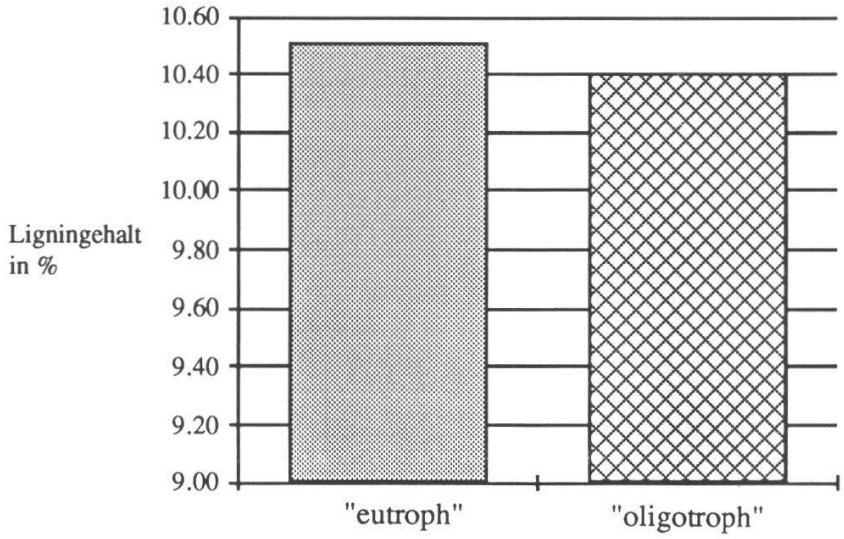

Fig. 27. Ligningehalt in % und Standort der Schilffläche.
Content of lignin in % and location of reed-area.

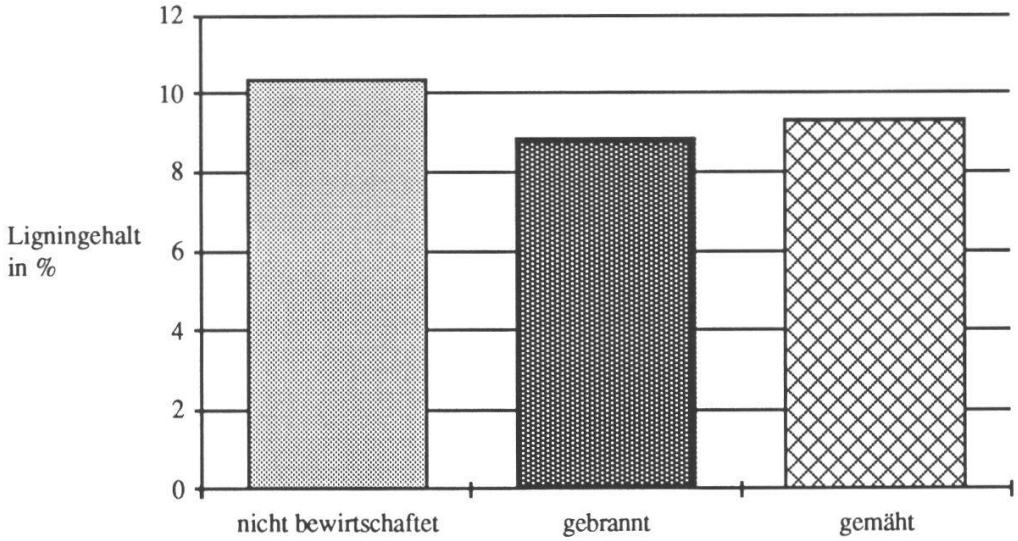

Fig. 28. Ligningehalt in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung.
Content of lignin depending on type of management.

Tab. 11. Varianzanalyse zum Ligningehalt an eutrophen und oligotrophen Standorten (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding the content of lignin in eutrophic and oligotrophic places (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: STAO Y_1: LIGNIN

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	1	.142	.142	.04
Within groups	60	216.042	3.601	p = .8431
Total	61	216.184		

Model II estimate of between component variance = -3.458

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
eu	40	10.511	1.84	.291
oli	22	10.411	2	.426

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
eu vs. oli	.1	1.008	.04	.199

Tab. 12. Varianzanalyse zum Ligningehalt in den drei Bewirtschaftungsflächen (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of variance regarding the content of lignin in the three management areas (cf. GAGNON et al. 1986).

One Factor ANOVA X_1: Bewirtsch. Y_1: Lignin (1)

Analysis of Variance Table

Source:	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
Between groups	2	33.24	16.62	5.515
Within groups	74	223.02	3.014	p = .0059
Total	76	256.26		

Model II estimate of between component variance = 6.803

Group:	Count:	Mean:	Std. Dev.:	Std. Error:
Group 1	44	10.382	1.723	.26
Group 2	18	8.876	1.85	.436
Group 3	15	9.349	1.629	.421

Comparison:	Mean Diff.:	Fisher PLSD:	Scheffe F-test:	Dunnett t:
Group 1 vs. 2	1.505	1.284*	4.803	3.099
Group 1 vs. 3	1.033	1.372	1.98	1.99
Group 2 vs. 3	-.473	1.605	.303	.779

* Significant at 99%

4.3. LIGNINGEHALT IM STENGELQUERSCHNITT

Die Ligninanteile in den Halmquerschnitten sind in den vier Himmelsrichtungen unterschiedlich gross. Die höchsten Mengen wurden in der Süd- und Ostrichtung und die niedrigsten in der West- und Nordrichtung nachgewiesen.
Fig. 29 zeigt eigentlich zwei ligninstärkere (S und E) und zwei ligninschwächere Richtungen (W und N). Die direkten Belastungen auf den Schilfhalm gehen auf die mechanischen Wirkungen des Windes, der Wellen und des Getreibsels zurück. Ein Zusammenhang zwischen den mechanischen Hauptbelastungsrichtungen und der Ligninbildung im Stengel scheint nachweisbar zu sein, wobei die Ligninmenge in der Reihenfolge der Himmelsrichtungen W, N, E, S signifikant ansteigt (siehe auch Tab. 13). Der Pflanzenstengel ist nach STRASSBURGER (1983) und BRAUNE et al. (1983) grundsätzlich in der Lage, auf die einwirkenden, mechanischen Kräfte durch die erhöhte Bildung von Gewebeverstärkungen (z.B. Sklerenchym- und Lignin) zu reagieren.
Die Resultate zeigen zudem, dass die Stauchrichtungen des Halmes (E und S) mehr Lignin bilden als die zugehörigen Zugrichtungen (W und N).

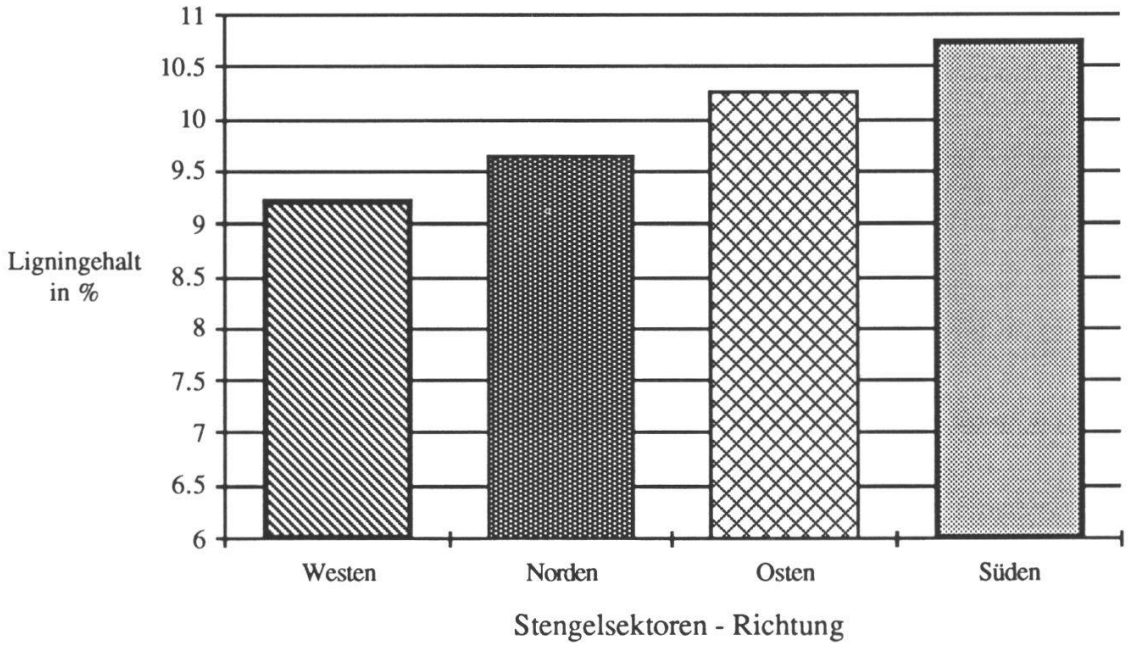

Fig. 29. Ligningehalt im Stengelquerschnitt (in den vier Himmelsrichtungen).
Content of lignin in a cross-section of stalks (in the four directions of the compass).

Tab. 13. Regressionsanalyse zu den steigenden Ligninwerten im Stengelquerschnitt (nach GAGNON et al. 1986).
Analysis of regression regarding the increasing lignin-findins in a stalk cross-section (cf. Gagnon et al. 1986).

Simple Regression X_1: Himmelsrichtung (1=W,2=N,3=E,4=S) Y_1: Ligningehalt

DF:	R:	R-squared:	Adj. R-squared:	Std. Error:
120	.251	.063	.055	2.245

Analysis of Variance Table

Source	DF:	Sum Squares:	Mean Square:	F-test:
REGRESSION	1	40.463	40.463	8.031
RESIDUAL	119	599.543	5.038	p = .0054
TOTAL	120	640.007		

Beta Coefficient Table

Parameter:	Value:	Std. Err.:	Std. Value:	t-Value:	Probability:
INTERCEPT	8.693				
SLOPE	.516	.182	.251	2.834	.0054

Confidence Intervals Table

Parameter:	95% Lower:	95% Upper:	90% Lower:	90% Upper:
MEAN (X,Y)	9.556	10.364	9.622	10.298
SLOPE	.155	.876	.214	.818

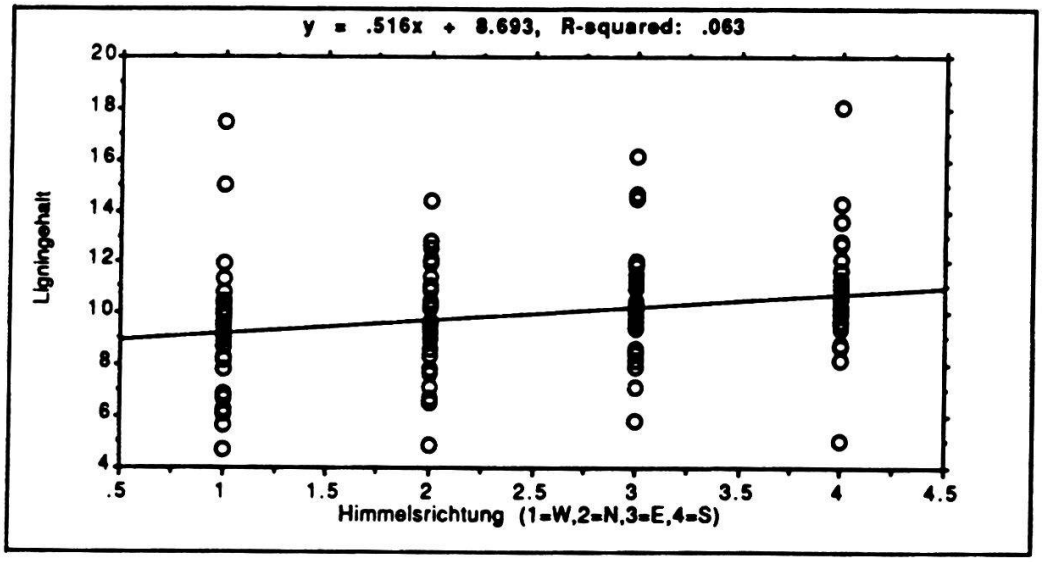

Fig. 30. Regressionsgerade zu den Ligninwerten in den vier Himmelsrichtungen (nach GAGNON et al. 1986).
Straight line of regression regarding the lignin-findings in the four directions of the compass (cf. GAGNON et al. 1986).

4.4. LIGNINGEHALT AUF VERSCHIEDENEN HALMHÖHEN UND SEINE ABHÄNGIGKEIT VON DER ERNTEZEIT

Entlang des Stengelhalmes (vertikal) verändert sich der Ligningehalt insofern als die grösseren Ligninanteile in den unteren Stengelinternodien nachweisbar sind (Fig. 31). Die gefundene Verteilung des Ligningehaltes lässt auf eine grössere Stengelstabilität im unteren Bereich schliessen. Der Halmbereich, welcher dem Wellengang direkt und am stärksten ausgesetzt ist, baut demnach mehr von diesen Festigungselementen auf. Die Ligninmenge korreliert zudem mit den Internodienlängen der Schilfhalme (vgl. Fig. 5).
Schilfstengel, die in verschiedenen Monaten eines Jahres geschnitten worden sind, weisen ebenfalls unterschiedliche Ligninmengen auf (Fig. 32). Bereits in den Augusthalmen wurde ein hoher Ligningehalt ermittelt. Er veränderte sich dann bis November nur ganz wenig. In den später geschnittenen Halmen findet man aber wieder deutlich weniger Lignin. Aufgrund dieser Untersuchungen zeigen die Septemberhalme die höchsten Ligninwerte als Hinweis auf eine hohe Stengelstabilität.

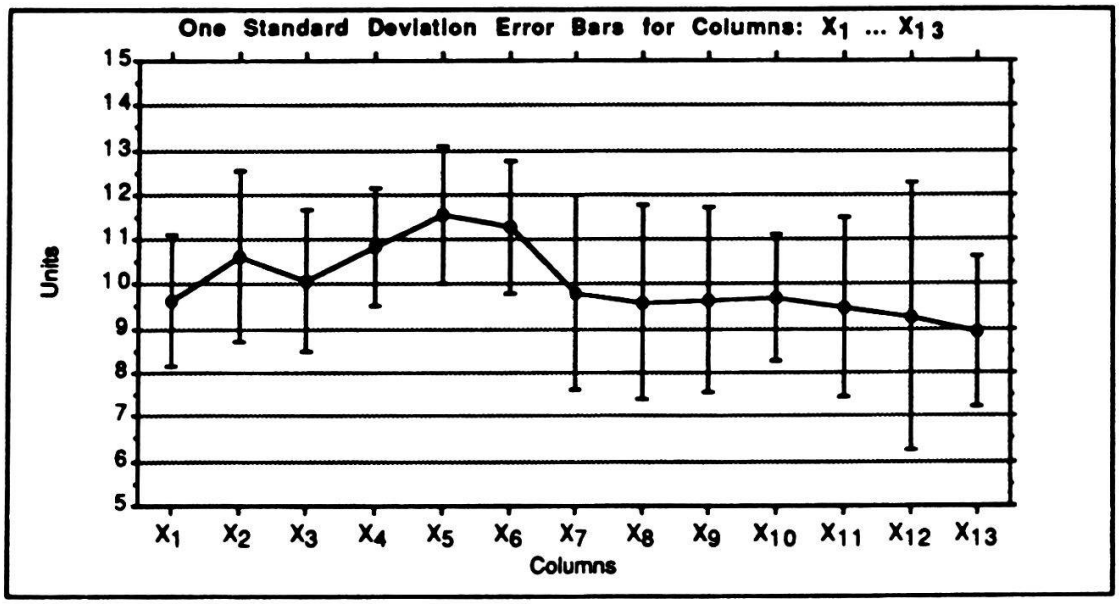

Fig. 31. Ligningehalt in den verschiedenen Stengelinternodien.
Content of lignin in various stalk-internodia.

Units = Ligningehalt in % - *content of lignin in %*
X1-X13 = Stengelinternodien-Nummern von unten nach oben
numbers from bottom to top of stalk-internodia

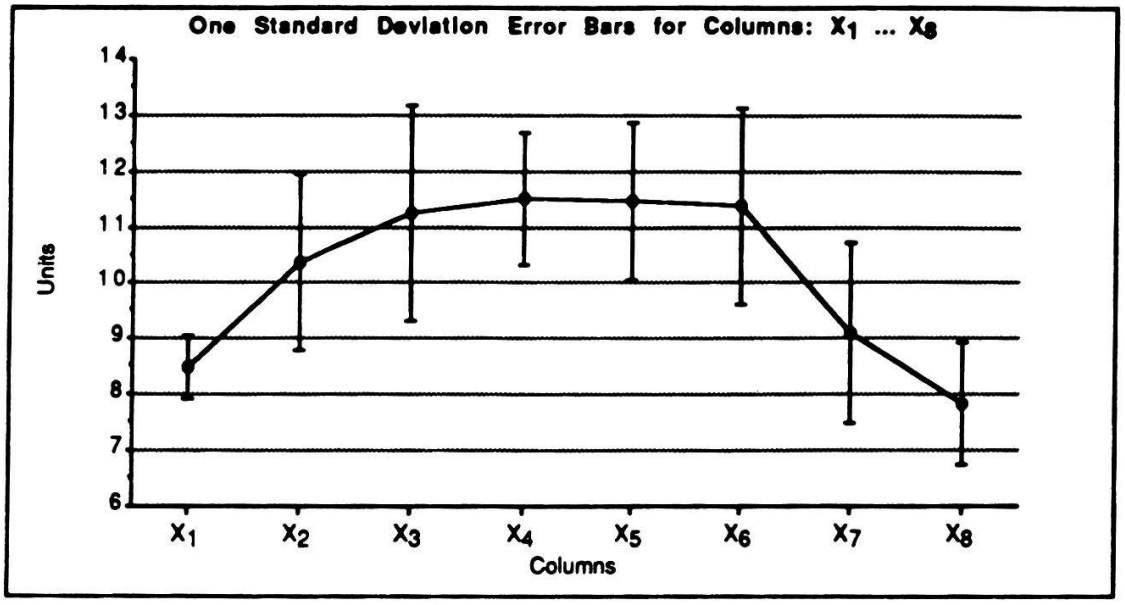

Fig. 32. Ligningehalt im Schilfhalm (mit Standardabweichungen) in Abhängigkeit von der Jahreszeit.
Content of lignin in the reed-stalk (with standard deviations), depending on the season.

Units = Ligningehalt in % - *content of lignin in %*, Xn = Erntemonate - months of harvesting: X_1 = Juni - *June*, X_2 = Juli - *July*, X_3 = August - *August*, X_4 = September - *September*, X_5 = Oktober - *Oktober*, X_6 = November - *November*, X_7 = Januar - *January*, X_8 = April - *April*

5. DISKUSSION

5.1. PRÄPARATIONS- UND AUSWERTE-METHODEN

In Anbetracht des sehr grossen Zeitaufwandes für die Herstellung von Mikropräparaten am Schilfhalm mit den klassischen Methoden und den z.T. unbefriedigenden Resultaten wegen der harten Stengelgewebe, war ein Ziel für diese Arbeit, nach rationelleren Arbeits- und Auswerte-Methoden zu suchen. Die allgemein bewährten Verfahren der Materialvorbereitung, der Präparate-Einbettung (ausser den Einbettungssubstanzen) und der Färbung wurden beibehalten. Hingegen wurde die eigentliche Präparateherstellung und deren Auswerte-Verfahren verändert.
Die Dünnschliffmethode zur Herstellung der Halmquerschnitte eignet sich für die gestellten Anforderungen, weil die histologischen Strukturen in ihrer topographischen Lage erhalten bleiben und weil sowohl durch das verwendete Einbettungsmittel (Araldit-Zweikomponentengiessharz) als auch durch den Präparateklebstoff (Araldit Rapide) die nachfolgende Färbung kaum beeinträchtigt wird. Zudem ist dieses Verfahren apparativ und manuell weniger aufwendig als die klassische Mikrotomtechnik; dies gilt vor allem dann, wenn am Arbeitsort eine Nassschleifmaschine, die sich natürlich auch für andere Arbeitseinsätze eignet, zur Verfügung steht.
Weitere Vorteile liegen darin, dass im rationellen Arbeitsablauf gleichzeitig an mehreren Internodien geschliffen werden kann. Durch die Schlifftechnik wird zudem (im Gegensatz z.B. zu Handschnitten) der ganze "Halmquerschnitt" gleich dick präpariert, was die Auswahl des Messbereiches für die Bildanalyse begünstigt.
Eine wichtige Voraussetzung für die nachfolgende optimale Präparatefärbung ist die Herstellung einer günstigen Giessharz-Konsistenz. Erst eine schäumende, dickflüssige Einbettungsmasse und ein geeigneter Präparateklebstoff erfüllen die Anforderungen.
Die Härte des ausgetrockneten Einbettungsmittels beeinflusst den Schleifvorgang nicht.
Die Nachteile der Schleifmethode gegenüber der Schnitttechnik liegen darin, dass keine lückenlosen Schnittserien längs eines Stengels angefertigt und nicht gleich feine (bezüglich der minimalen Dicke) Präparate hervorgebracht werden können. Zudem bringen allenfalls die Schleifrückstände, die in den Zell-Lumina zurückgehalten werden und auch lignifiziertes Gewebe enthalten, Probleme. Durch Polieren des Araldit-Plättchens mit dem Stengelschliff können aber die Schleifspuren weitgehend entfernt werden.

Neben den grossen und vielfältigen Vorteilen bei der Bildanalysenauswertung, die relativ rasch und zuverlässig die einzelnen Farbflächengrössen im Vergleich mit der Gesamtfläche des Bildausschnittes wiedergibt, muss man auch erwähnen, dass für jede Aufnahme der Präparateausschnitt ausgewählt und bestimmt werden muss. In dieser Auswahl liegt eine Subjektivität dieses modernen Auswerteverfahrens, und darin ist z.T. auch begründet, weshalb die Lignin-Messwerte dieser Arbeit tiefer liegen als bei TOBLER (1943), RODEWALD-RUDESCU (1974) und RAGNI-ATRI und BORNKAMM (1980), welche die Ligninwerte chemisch bestimmt haben; auch muss festgestellt werden, dass die Ligninmesswerte der Halme bei RODEWALD-RUDESCU (1974) zwischen 14% und 36% schwanken. Hinzu kommt, dass auch das hier angewandte Färbeverfahren Unterschiede aufweist, weil der Farbdifferenzierungsgrad vor jeder photographischen Aufnahme neu festgelegt wird. Zudem werden schliesslich nicht alle "Rottöne" der Ligninfärbung in einem Stengel gleich erfasst. Die unterschiedlichen Ligninmengen-Messungen müssten demnach vor allem auf die verschiedenen Auswerte-Methoden zurückgeführt werden.

5.2. EIGENSCHAFTEN DER SCHILFHALME UND UMWELTFAKTOREN

5.2.1. Zigarrenbildung

Die vorliegende Arbeit ermittelt nur die Häufigkeit der Zigarrenbildungen an den Halmspitzen (verursacht durch Insekten wie *Lipara lucens* Meigen) in den verschiedenen Bewirtschaftungsflächen. Der deutliche Zigarrenbildungs-Rückgang (um mehr als 50%) in den gebrannten und in den gemähten Schilfflächen (Fig. 23) zeigt auf, wie man den Schädlingen direkt zu Leibe rücken kann. Die Bewirtschaftung des Schilfes führt wahrscheinlich nicht zu einer allgemeinen erhöhten Resistenz des Schilfes gegen den Insektenbefall, sondern die Überwinterungsstadien dieser Dipteren werden durch Brand und Mahd in ihrer Populationsdichte reduziert. Der regelmässig starke Befall scheint auf eine allgemeine Schwächung des Schilfes hinzuweisen; dies bedeutet, dass es sich bei diesen Parasiten hauptsächlich um Sekundärschädlinge handelt, die (verglichen mit den Borkenkäfern im Wald) ihre maximale Populationsdichte bei geschwächten Wirtspflanzen erreichen(KLÖTZLI und ZÜST 1973a, KLÖTZLI 1979, SUKOPP und MARKSTEIN 1981).

Allein aus der Sicht des Schädlingsbefalls lassen die Resultate erkennen, dass

sich eine Bewirtschaftung des Schilfes positiv auswirkt.

5.2.2. Halmhöhen, Halmdurchmesser und Knotenzahlen

Die Untersuchungen zeigten, dass das Schilf durch die Bewirtschaftung um rund 7-9% kleinere Durchschnittsmasse an Höhe und Durchmesser erreicht (Fig. 24). Die EMPA-Messungen (Fig. 5) entsprechen den Erhebungen dieser Arbeit in den unbeeinflussten Schilfzonen. HÜRLIMANN (1951) gibt für den Zürichsee (bei Feldbach) kleinere Schilfhöhen für nicht bewirtschaftete Flächen an (ca. 250 cm Durchschnittshöhe).
Wichtige Gründe für den schwächeren Wuchs des geschnittenen und gebrannten Schilfes liegen nach KLÖTZLI (1974), KLÖTZLI und ZÜST (1973a) und BINZ (1989) in den katastrophalen Auswirkungen des mechanischen Einflusses von Wellengang, Treibgut und Algenmatten auf die jungen, ungeschützten Phragmites-Sprosse nach der Entfernung der Überständer. In den unbewirtschafteten Zonen wachsen die Jungsprosse unter dem Schutz der Ueberständer auf. Das stärkere Wachstum in den unbeeinflussten Gebieten führt gemäss den vorliegenden Daten nicht zu einer Erhöhung der Knotenzahlen an den Einzelhalmen.

5.2.3. Halmzahl und Trockensubstanz

Die Schilfbewirtschaftung führte nach den vorliegenden Erhebungen zu einer Erhöhung von Halmdichte und Trockensubstanzmenge. Dies wäre vorerst ein positiver Effekt der Pflegemassnahmen, wenn nicht die später beschriebenen Schilfeigenschaften dazukämen. Die Werte für die Halmzahlen entsprechen den Erhebungen aus den Jahren 1967-1973 von KLÖTZLI (1974), und die Trockensubstanzmengen stehen im Gegensatz zu dessen Angaben, wo die geschnittenen Schilfbestände etwas weniger Biomasse produzierten als die nicht gemähten Schilfflächen. Die Differenzen von geschnitten und ungeschnitten mögen einerseits zusammenhängen mit den unterschiedlichen Standortverhältnissen (bezüglich der veränderten chemisch-physikalischen Wasserqualität und der chemischen Zusammensetzung der Sedimente und des Porenwassers) und andererseits, wie KRISCH (1979) feststellte, mit den unterschiedlichen Wachstumsreaktionen des Schilfes oberhalb und unterhalb des Mittelwasserbereiches. Das untersuchte Schilfmaterial dieser Arbeit stammt ausschliesslich aus Flächen, deren Boden unterhalb des Mittelwasserbereiches liegt, das sowohl dem Frost als auch den mechanischen Belastungen von Wellengang und Treibgut besonders stark ausgesetzt ist. Auch OSTENDORP (1987) weist auf den veränderten Gehalt der Se-

dimentoberschichten an Phosphor und Stickstoff hin, welcher sich allgemein negativ auf die geschnittenen Schilfflächen auswirkt.

5.2.4. Abhängigkeit des Ligningehalts von Standort und Bewirtschaftung

Es wundert nicht, dass der Ligningehalt in diesen Messungen für die "eutrophen" und "oligotrophen" Bereiche (vgl. OSTENDORP 1989) praktisch gleich hoch ist. Einen ähnlichen Befund hatten BINZ (1989) sowie RAGHI-ATRI und BORNKAMM (1980) für die Halmfestigkeit; bei letzteren verursachten hohe Stickstoffgaben eine Erhöhung des Halmradius und eine Verringerung des Anteils der äusseren Sklerenchymringfläche; der Ligningehalt blieb gleich und die Zerreissfestigkeit des Halmes nahm ab. Andere Halmreaktionen wurden nachgewiesen bei der Kombination verschiedenener Nährstoffgaben (Stickstoff, Phosphor, Bor); interessant war z.B., dass mit steigenden Phosphorgaben der Rohfasergehalt abnahm und dass zwischen dem Halmradius und dem Rohfasergehalt keine Korrelation besteht.
SUKOPP und MARKSTEIN (1981) wiesen hingegen an Beständen von *Phragmites* und *Typha angustifolia* in der Havel (Berlin) nach, dass eine allgemeine Düngung die Sklerenchymentwicklung (im Parenchymleitbündelbereich) fördert. Für die Halmfestigkeit hat nicht der Parenchym- sondern der äussere Sklerenchymbereich eine grosse Bedeutung (TOBLER 1943). NIKOLAJEWSKIJ (1971) zeigte, dass die Stickstoffdüngung allgemein die Anteile der mechanischen Gewebe vermindert. TOBLER (1943) fand des weiteren bei seinen Experimenten in Botanischen Garten in Dresden, dass eine gezielte Stickstoffgabe die Verholzung im Halm reduziert. Die Belastung des Standortes durch Nährstoffe (Eutrophierung) führt demnach je nach Kombination zu sehr unterschiedlichen Reaktionen. Gleichzeitig muss festgehalten werden, dass die genetisch bedingte Unterschiedlichkeit der Phragmites-Klone hinsichtlich der quantitativen Ausbildung anatomisch-morphologischer Merkmale sehr gross sein kann. Auch für BJÖRK (1967) und HASLAM (1971) waren die unterschiedlichen Stengelbaumerkmale mehr oder weniger genetisch bedingt.
Es ist anzunehmen, dass die *Phragmites*-Klone an verschiedenen Standorten unterschiedlich auf die Pflegemassnahmen reagieren .
Allgemein lässt sich sagen, dass aufgrund der leicht niedrigeren Halmligningehalte in den bewirtschafteten Schilfflächen die Halmstabilität auch eher geringer sein dürfte.

5.2.5. Stengelbelastung und Ligninbildung über den Halmquerschnitt

Aus Fig. 29 geht hervor, dass der Stengel der mechanischen Belastung durch die Bildung von verstärkendem Lignin begegnet. Diese Belastung ist punktuell am Stengel aus sehr verschiedenen Kräften zusammengesetzt. Obschon eine exakte Berechnung z.B. der zwischen Wind und Schilfhalm wirkenden Kräfte wegen der komplizierten und unregelmässigen Form der Pflanze unmöglich ist (BINZ 1989), kann aufgrund der Verteilung des Lignins und des Sklerenchyms die Hauptbelastung auf den Schilfhalm abgeleitet werden. Die höchsten Ligninmengen des Halmquerschnittes liegen im "Süd- und Ostsektor", also in den Richtungen, die der Wind-, Wellen-, und Treibzeughauptbelastungsrichtung abgekehrt sind. Verglichen mit der Hauptwindrichtung für die Umgebung von Altenrhein (im Gesamtvorkommen überwiegen die Winde des West- und Nordwestsektors) und der starken Wellen- und Treibzeugbelastung aus Nordwesten, wird das Schilf an diesem Standort vor allem in die südöstliche Richtung gedrückt. Aufgrund der einwirkenden Kräfte braucht der Halm wegen dessen Knickgefahr in dieser Richtung eine besondere Halmverstärkung. Gegen die Zugkräfte reagiert der Halm durch die Erhöhung der Elastizität und durch die Einlagerung von Sklerenchymfasern. Am Zusammenspiel der Kräfte, die auf den Halm einwirken, spielen aber die Wuchsformen der Einzelstengel auch eine grosse Rolle. Gegen die Windeinwirkung "wehrt" sich der Schilfhalm auch, indem er sich in die Windrichtung krümmt und legt. Dadurch wird die Stauchrichtung nach E weniger stark belastet als diejenige nach S, was sich möglicherweise in den leicht geringeren Ligninmengen niederschlägt, die in der vorliegenden Arbeit in den E-Sektoren der Halmquerschnitte gefunden worden sind.

5.2.6. Lignin in verschiedenen Stengelinternodien

Die Ligninmengen der unteren sechs Schilfinternodien sind leicht höher als in den oberen Halmabschnitten. Diese unteren Stengelbereiche sind gemäss BINZ (1989) sowohl von Wind als auch Wellengang und vom Treibgut während des Sommers stärker belastet. Den grösseren Belastungen von aussen setzt der untere Halmbereich eine leicht stärkere Lignifizierung entgegen, auch die Stabilität (Knickfestigkeit) ist in diesen Halmabschnitten ebenfalls erhöht (BINZ 1989).
Die grössten durchschnittlichen Ligninmengen wurden in den Sommer- und Herbstmonaten gefunden; in dieser Zeit gab es nur mehr einen sehr geringen Zuwachs an Holzstoffen. Die Ligninmengen im jungen Spross sind geringer als im ausgewachsenen. Die jungen Halme sind (bis Mitte oder Ende Juni) gefährdeter

als die älteren Sprosse, weil sie einerseits weniger stabil sind und andererseits weil erst der Julispross nach einem Knicken eine Regenerationsmöglichkeit hat. Nach den vorliegenden Vergleichsmessungen sollte die Ligningehaltsbestimmung mit verschiedenen Methoden an Septemberhalmen im fünften oder sechsten Internodium durchgeführt werden, da zu diesem Zeitpunkt die Verholzung am ausgeprägtesten zum Vorschein kommt (Fig. 31 und 32). Diese Septemberhalme müssten dann zudem auch verschiedenen Bewirtschaftungszonen, die selber wieder in eutrophem oder oligotrophem Milieu liegen, entnommen werden können.

ZUSAMMENFASSUNG

1. An Schilfhalmen von verschieden bewirtschafteten Röhrichten am Bodensee (Mahd, Brand, keine Bewirtschaftung) wurden Ligninmessungen, morphologische Untersuchungen und Erhebungen zum Schadinsektenbefall durchgeführt.
2. Zur Ligninmessung wurde eine neue Präparationsmethode mit Hilfe von Dünnschliffen erarbeitet, mit der gleichzeitig mehrere Feinschliffe von 40 µm hergestellt wurden. Durch anschliessende Färbung mit Phloroglucin/Salzsäure lässt sich das Lignin als Festigungselement optisch bestimmen.
3. Höhe, Durchmesser und Knotenzahl der Halme sind in nicht bewirtschafteten Flächen grösser als in gebrannten und gemähten; Trockensubstanz und Zahl der Halme hingegen am kleinsten und in gemähten Flächen am grössten.
   Der Schadinsektenbefall der Halme ("Zigarrenbildung" im Bereich der Blütenrispe) beträgt in den nicht bewirtschafteten Flächen 52%, in den gemähten 39% und in den gebrannten 24%.
4. Die optischen Messungen des Ligningehaltes erfolgten an Schilfhalmen, die an nährstoffreicheren und nährstoffärmeren ("eutrophen" und "oligotrophen") Standorten sowie in verschieden bewirtschafteten Schilfflächen gewachsen sind.
   In Schilfhalmen von "eutrophen" und "oligotrophen" Standorten wurde ungefähr gleichviel Lignin gemessen. Die Ligninmengen in nicht bewirtschafteten Flächen sind leicht höher als in den bewirtschafteten (Mahd und Brand), in den gebrannten Schilfflächen sind sie am kleinsten.
   Das Abbrennen von Schilfflächen wird sich demnach eher negativ auf die Halmstabilität auswirken.
5. Die Querschnittsanalysen ergaben unterschiedliche Ligninmengen in den verschiedenen Richtungen. Die grössten Ligninanteile konnten im südlichen, die zweithöchsten im östlichen und die kleinsten im westlichen Stengelsektor gefunden werden.
   In den beiden "Zugrichtungen" Westen und Norden (entsprechend des Wellenganges und der Windeinwirkung) findet sich jeweils weniger Lignin als in den entsprechenden "Stauchrichtungen" Osten und Süden.

6. Der Ligninanteil in den untersten sechs Internodien ist leicht höher als in den Internodien 7-13. Die starken mechanischen Belastungen durch Wellen und Wind wirken sich demnach positiv auf die Verholzung im Halm aus.
7. Die Ligninanteile variieren leicht mit der Jahreszeit. Während des Sommers (Juni bis September) nimmt die Ligninmenge zu, bleibt im Herbst (September bis November) stabil und wird nachher wieder abgebaut.

SUMMARY

1. On the Bodensee (Lake of Constance) experiments were carried out on reeds in various beds that had been treated differently (mowing, burning or no treatment): the lignin was measured, the reed morphology and some aspects of the infection with harmful insects were investigated.
2. To measure the lignin a new preparation technique was developed: by grinding a reed thinly several smooth sections of 40 micrometres could be obtained simultaneously. After a process of dyeing with phloroglucine/hydrochloric acid the lignin could be optically determined as an element of stability.
3. The height, diameter and number of nodes of the reeds are bigger in untouched areas than in burned or mown beds; the dry substance and the number of reeds, however, are the smallest in untouched areas; the biggest amounts of the latter are found in mown areas.
   The infection of reeds with harmful insects (the formation of "cigars" around their panicles) amounts to 52% in untouched areas, 39% in mown and 24% in burned ones.
4. The optical measurements of the content of lignin were made on reeds which had grown in more or less eutrophic and oligotrophic places, as well as in differently treated areas of reed.
   The amount of lignin in reeds was the same approximately, regardless of "eutrophic" or "oligotrophic" soil. Its quantities in untouched areas are slightly bigger than in mown or burned beds; in burned reed they are the smallest.
   Consequently, the burning of reed areas may have a negative effect on the stability of the stalks.
5. The cross-sectional analyses showed differing quantities of lignin depending on the direction of the compass: they were the biggest in the southern sector of the stalk, the second biggest in the eastern and the smallest in the western part.
   Generally, there is less lignin in both wind-directions West and North (according to the movements of the waves and the wind) than in the corresponding "leeward" directions East and South.
6. The amount of lignin in the lowest six internodes is somewhat bigger than in internodes 7 to 13. The strong mechanical pressure of waves and wind therefore has a positive effect on the woodenness of the stalks.
7. According to the season the quantities of lignin vary a little. During summer (June to September) the amount increases; it remains stable in autumn (September to November) and afterwards it is reduced.

LITERATUR

BINZ A. und HEITZ Chr., 1986: Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz. Schwabe, Basel. 624 S.

BINZ H.-R., 1980: Der Schilfrückgang - ein Ingenieurproblem? Verband zum Schutze des Landschaftsbildes am Zürichsee *53*, 13-69.

BINZ H.-R., 1989: Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug. Veröff.Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel,Zürich, *101*, 536 S.

BINZ H.-R. und KLÖTZLI F., 1978: Mechanische Wirkungen auf Röhrichte im eutrophen Milieu - Versuch eines Modells. Beitr. zur chemischen Kommunikation in Bio- und Ökosystemen (Festschrift Prof. Kickuth). Lehrstuhl für Ökochemie, Gesamthochschule Kassel, Witzenhausen. 193-215.

BITTMANN E., 1953: Das Schilf (*Phragmites communis* Trin.) und seine Verwendung im Wasserbau. Angew.Pflanzensoziol. *7*, 1-44.

BITTMANN M. und SEIDEL K., 1967: Entwässerung von Chemieschlamm mit Hilfe von Pflanzen. Gas und Wasserfach (Wasser und Abwasser) *108*, 1-44.

BJÖRK S., 1967: Ecologic investigations of *Phragmites communis*. Fol.limnol.scand. *14*, 248 S.

BOORMAN L.A. und FULLER R.M., 1981: The changing status of reeds-wamp in the Norfolk Broads. J.Appl.Ecol. *18*, 241-269.

BORNKAMM R., RAGHI-ATRI F. und KOCH M., 1980: Einfluss der Gewässereutrophierung auf *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. Garten und Landschaft *90*, 15-19.

BRAUNE W., LEMAN A. und TAUBERT H., 1983: Pflanzenanatomisches Praktikum I und II (2 Bände, 4. Aufl.). Fischer, Stuttgart. 279 S. und 426 S.

CAMPELL R., 1977: Mikrobiol. Ecology. Akademie-Verlag, Berlin. (Übers. BRAUER M., 1980: Mikrobielle Ökologie. Weinheim, Berlin. 243 S.)

FAHN H., 1982: Plant anatomy. (3. Aufl.). Pergamon Press, Oxford/New York/Toronto/Sydney/Paris/Frankfurt. 544 S.

GAGNON J., FELDMAN D.S., HOFMANN R. und SIMPSON J., 1986: Stat View 512+TM (inkl. Stat-View-Programm für Personal Computer). Brain Power Inc.,Calabasas, CA/USA. 180 S.

GAJEWSKAJA M., 1955: Tierische Parasiten an Pflanzen (vor allem Schilfparasiten). 31 S. (Polykopie).

GRÜNIG A., 1975: Lochbildungen im Röhricht (dargestellt anhand des Rückganges des Schilfbestandes in Altenrhein [Bodensee] von 1926-1974). Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel,Zürich. 66 S. + Anhang. (Polykopie).

GRÜNIG A., 1980: Unsere Seeufer in Vergangenheit und Gegenwart. Jb.Verb.Schutze Landschaftsb. Zürichsee *53*, 15-34.

HASLAM S.M., 1971: Shoot height and density in *Phragmites* stands. Hydrobiologia *12*, 113-119.

HASLAM S.M., 1973: Some aspects of the live history and autecology of *Phragmites communis* Trin. Pol.Arch.Hydrobiol. 20, 79-100.

HEGI G., 1983: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Parey, Berlin/Hamburg. Band I, Teil 3 (Lieferung 2) 81-160.

HESS H.E., LANDOLT E. und HIRZEL R., 1967: Flora der Schweiz I: *Pteridophyta* bis *Caryophyllaceae* . Birkhäuser, Basel/Stuttgart. 858 S.

HOCK B. und ELSTNER E.F., 1988: Schadwirkungen auf Pflanzen. Lehrbuch der Pflanzentoxikologie (2. Aufl.). Wissenschaftsverlag, Mannheim/Wien/Zürich. 348 S.

HÜRLIMANN H., 1951: Zur Lebensgeschichte des Schilfes an den Ufern der Schweizer Seen. Beitr.Geobot.Landesaufn.Schweiz *30*, 1-132.

HUSS E., 1975: Beiträge zur Kenntnis der Winde im Bodenseegebiet. Schr.Ver.Gesch. Bodensees *93*, 66-223.

JESCHKE L., 1976: Veränderungen des Röhrichtgürtels der Seen in unseren Naturschutzgebieten. Natursch.arbeit in Mecklenburg *19*, 49-52.

JURZITZA G., 1987: Anatomie der Samenpflanzen. Thieme, Stuttgart/New York. 293 S.

KICKUTH R., 1969: Höhere Wasserpflanzen und Gewässerreinhaltung. Ökochemische Wirkungen höherer Pflanzen und ihre Funktion bei der Gewässerreinhaltung. Schr.R.Ver. dtsch. Gewässerschutz *19*, 14 S.

KICKUTH R., 1975: Jahresbericht 1974 zum Modellprojekt "Othfresen". Gemeinde Liebenburg, Landkreis Goslar. 23 S. (Polykopie).

KLÖTZLI F., 1969: Über die Ursachen des Schilfsterbens. Naturschutz Oberschwaben-Bodensee-Hegau *10*, 7-9.

KLÖTZLI F., 1971: Biogenous influence on aquatic macrophytes, especially *Phragmites communis*. Hydrobiologia *12*, 107-11.

KLÖTZLI F., 1974: Über Belastbarkeit und Produktion in Schilfrörhrichten. Verh.Ges.Ökol. Saarbrücken, 1973. 237-247.

KLÖTZLI F., 1975: Zur Ursächlichkeit des Rückganges der Seeufervegetation im KLN-Objekt Grangettes. Gutachten, Laboratoire d'Hydraulique, EPFL. 19 S. (Polykopie).

KLÖTZLI F., 1979: Krankheitsgeschehen am Seeufer. NZZ Zürich. *289*, 61.

Klötzli F., 1980: Unsere Umwelt und wir. Eine Einführung in die Ökologie. Hallwag, Bern/ Stuttgart. 320 S.

KLÖTZLI F. und GRÜNIG A., 1976: Seeufervegetation als Bioindikator. Daten und Dokumente zum Umweltschutz *19*, 109-131.

KLÖTZLI F. und ZÜST S., 1973a: Nitrogen regime in reed-beds. Pol.Arch.Hydrobiol. *20*, 131-136.

KLÖTZLI F. und ZÜST S., 1973b: Conservation of reed-beds in Switzerland. Pol.Arch.Hydrobiol. *20*, 229-235.

KOVACS M., 1976: Die Bedeutung der Balaton-Uferzone für den Umweltschutz am See. Acta Bot.Acad.Scient.Hung. *22(1-2)*, 85-105.

KRISCH H., KRAUSS N. und KAHL M., 1979: Der Einfluss von Schnitt und Frost auf Entwicklung und Biomasseproduktion der *Phragmites*-Röhrichte am Greifswalder Bodden. Folia Geobot.Phytotax. (Praha) *14*, 121-144.

LANG G., 1968: Vegetationsänderungen am Bodenseeufer in den letzten hundert Jahren. Schrift.Ver.Geschichte Bodensee u. Umgebung *86*, 295-319.

LANG G., 1973: Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees. Internat. Gew.schutzkom.Bodensee, Landessamml.Naturk.Karlsruhe. *12*, 67 S.

NIKOLAJEWSKIJ V.G., 1971: Research into the biology of the common reed (*Phragmites communis* Trin.) in the U.S.S.R. Folia Geobot.Phytotax (Praha) *6*, 221-230.

OBERDORFER E., 1970: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland. Ulmer, Stuttgart. 987 S.

OSTENDORP W., 1983: Auswirkungen von Schilfpflegemassnahmen (Winterschnitt und Brand) auf Schilfbestand und Sedimentoberschicht am Bodensee-Untersee. Abschlussber.Limnol.Inst.Univ.Konstanz. 186 S.

OSTENDORP W., 1987: Die Auswirkungen von Mahd und Brand auf die Ufer-Schilfbestände des Bodensee-Untersees. Natur und Landschaft *62(3)*, 99-102.

OSTENDORP W. 1988: Nährstoffkreisläufe und Nährstoffakkumulation in Seeufer-Schilfröhrichten am Beispiel des Bodensee-Untersees. TELMA *18*, 351-372.

OSTENDORP. W., 1989: Schilfrückgang am Bodensee-Untersee. Ursachen, Gegenmassnahmen. Ber.Limnolog.Inst.,Univ.Konstanz. (im Druck).

PRIES E., 1984: Verlauf, Umfang und Ursachen des Röhrichtrückganges an uckermärkischen Seen und seine Auswirkungen auf Rohrsängerbestände. Naturschutzarbeit in Mecklenburg *27(1/2)*, 3-19 und 72-82.

PRIES E., 1985: Allgemeine Ursachen des Röhrichtrückganges. Naturschutzarbeit in Mecklenburg *28(2)*, 69-74.

RAGHI-ATRI F. und BORNKAMM R., 1979: Wachstum und chemische Zusammensetzung von Schilf (*Phragmites australis*) in Abhängigkeit von der Gewässereutrophierung. Arch.Hydrobiol. *85(2)*, 192-228.

RAGHI-ATRI F. und BORNKAMM R., 1980: Über Halmfestigkeit von Schilf (*Phragmites australis* [Cav.] Trin. ex Steudel) bei unterschiedllicher Nährstoffversorgung. Arch.Hydrobiol. *90(1)*, 90-105.

RODEWALD-RUDESCU L., 1974: Das Schilfrohr (*Phragmites communis* Trin.). Die Binnengewässer 27. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 302 S.

ROHNER P. und BRUNNER J., 1983: Eine Dünnschliffmethode zur Herstellung von Querschnitten. Textilveredlung *18(2)*, 77-79.

ROMEIS B., 1968: Mikroskopische Technik. Oldenburg, München/Wien. 757 S.

RUTTNER F., 1962: Grundriss der Limnologie. (3. Aufl.). De Gruyter, Berlin. 259 S.

SCHRÖDER R., 1973: Die Freisetzung von Pflanzennährstoffen im Schilfgebiet und ihr Transport in das Freiwasser am Beispiel des Bodensee-Untersees. Arch.Hydrobiol. *71*, 145-158.

SCHRÖDER R., 1976: Der gegenwärtige Zustand der Schilfgebiete des Bodensee-Untersees. Ber.Inst.f.Seeforschung u.Fischereiwesen, Landesanst.f.Umweltschutz Baden-Württemberg. Langenargen. 27 S. (Polykopie)

SCHRÖDER R., 1979: The decline of reed swamps in Lake Constance. Symp.Biol.Hung., Budapest *19*, 43-48.

SCHRÖDER R., 1987: Das Schilfsterben am Bodensee-Untersee. Beobachtungen, Untersuchungen und Gegenmassnahmen. Arch.Hydrobiol. *76*(Suppl.), 53-100.

SEIDEL K., 1966: Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen. Naturwiss. *53*, 289-297.

SEIDEL K., 1973: Macrophytes as functional elements in the environment of man. Hydrobiol. *12*, 121-130.

SEIDEL K., 1975: Überraschende Möglichkeiten der Nutzung höherer Wasserpflanzen. Forsch.u.Techn., NZZ Zürich. *239*, 51-52;

SELL J., 1978: Quantitative automatische Bildanalyse in der Materialprüfung. Material und Technik (EMPA Dübendorf) *6(2)*, 79-83.

STRASSBURGER E., 1983: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. (32. Aufl., neubearb., DENFFER D., ZIEGLER H., EHHRENDORFER F. und BRESISINSKY A. Fischer, Stuttgart. 1161 S.

SUKOPP H., 1963: Die Ufervegation der Havel. Sen.Bau-und Wohnungswesen Berlin, Berlin. 40 S.

SUKOPP H., 1971: Effects of recreational activities on littoral macrophytes. Hydrobiologia *12*, 331-340.

SUKOPP H., 1973: Conservation of wetlands in Central Europe. Pol.Arch.Hydrobiol. *20*, 227-232.

SUKOPP H. und KUNICK W., 1968: Veränderungen des Röhrichtbestandes der Berliner Havel 1962-1967. Sen.Bau- und Wohnungswesen Berlin, Abt. VII E, Wasser und Schiffahrtswesen, Berlin. 66 S.

SUKOPP H. und MARKSTEIN B., 1981: Veränderungen von Rörichtbeständen und -pflanzen als Indikatoren von Gewässernutzungen, dargestellt am Beispiel der Havel in Berlin (West). Limnologia (Berlin) *13(2)*, 459-471.

SUKOPP H., MARKSTEIN B. und TREPL L., 1975: Röhrichte unter intensivem Grossstadteinfluss. Beitr.Naturk.Forsch.Südw.-Deutschland *34*, 371-385.

TOBLER F., 1943: Stengelbau, Festigkeit und Verwertungsunterschiede beim Schilfrohr (*Phragmites communis* Trin.). Angew.Bot. *25*, 165-177.

TOCAN M., REICHMANN E., RADULESCU M. und STATESCU O., 1965: Beiträge zur Kenntnis der Feinstruktur der Parenchymzellwand im Vegetationsgewebe des Schilfrohrstengels. Celuloza & Hirtie, Bukarest. *14*, 215-218.

WAITZBAUER W., 1970: Lebensweise und Produktionsbiologie der Schilfgallenfliege *Lipara*

lucens Meigen (*Diptera, Chloropidae*). Sitzungsber.österr.Akad.Wiss.,math.-nat.Kl., Abt. I, *178*, 175-242.

WALTER F., 1961: Das Mikrotom. Leitfaden der Präparationstechnik.und des Mikrotomschneidens. Tech.Päd. Scharfes Druckereien, Wetzlar. 46 S.

WEBER E., 1972: Grundriss der biologischen Statistik. Fischer, Stuttgart. 706 S.

WITTWER F., 1983: Untersuchungen der Wuchsformen verschiedener Pflanzenarten in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung.Diplomarbeit. Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel, Zürich. 88 S. (Polykopie).

Adresse des Autors: Albert P. GUNTLI
Nelkenweg 6

CH-9442 Berneck