

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich  
**Herausgeber:** Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)  
**Band:** 101 (1989)

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

**Autor:** Binz-Reist, Hans-Rudolf

**Kapitel:** Teil III. Untersuchungen zur Halmfestigkeit : Feldversuche

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

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 31.01.2026

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

## 4. FELDVERSUCHE

### 4.1. ZWECK

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bestand der Zweck der Feldversuche nicht in weiteren Festigkeitswerten, sondern das Ziel war, Methoden zu testen, die bei künftigen Anwendungen des mathematischen Modells auch ohne aufwendige Laborversuche brauchbare Eingangsgrößen liefern, d.h. die Feldmethoden sollen für gleiches Material ungefähr gleiche Werte liefern wie die Laborversuche.

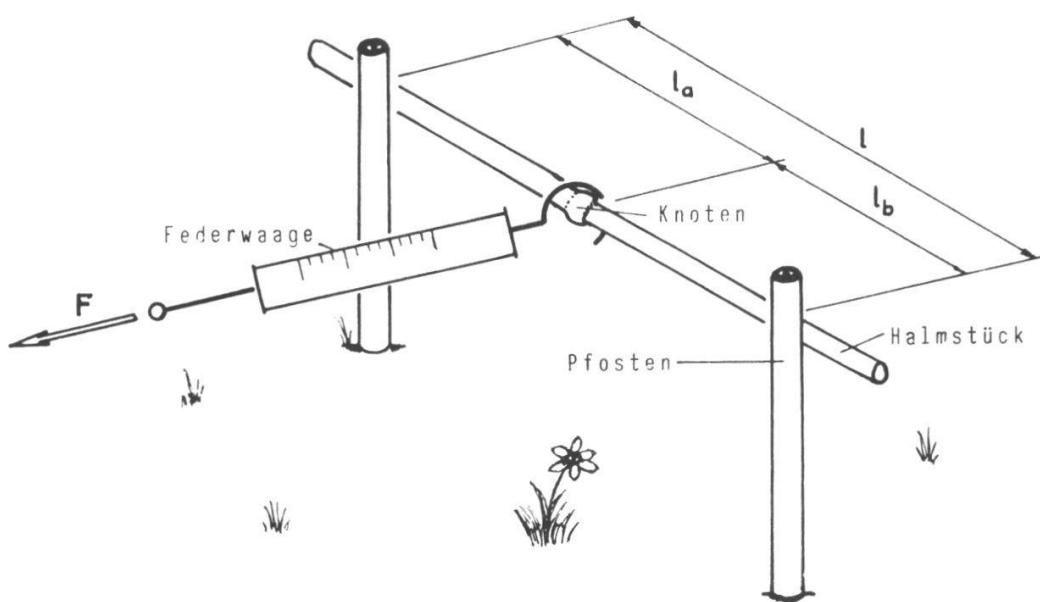
### 4.2. MESSUNG DER BIEGEBRUCHFESTIGKEIT MIT DER FEDERWAAGE

#### 4.2.1. Versuchseinrichtung

Die Biegebruchfestigkeit von Schilf mittels einer Federwaage zu messen, ist an sich nichts Neues (vgl. Kap. 2.). Um einigermaßen brauchbare Resultate zu erhalten, sind allerdings einige Punkte zu beachten.

Das statische System der Prüfanordnung zeigt Fig. 1.5., bzw. Anordnung 2 in Fig. 1.7.; belastet wird mit Vorteil in der Mitte, dann müssen die Längen der beiden Teilstücke nicht gemessen werden. Als Auflager können irgendwelche zwei feste Punkte verwendet werden. Am besten sind nicht zu dicke, runde Stangen oder Pfosten (s. schematische Darstellung in Fig. 4.1. und eine praktische Ausführung mit gerade zur Verfügung stehenden Zeltstangen in Fig. 4.2.). Nicht zu dick dürfen die Pfosten darum sein, weil sonst die Auflagerpunkte bei großer Biegung zu stark "nach innen" wandern und so die effektive Spannweite vermindert wird. Unzweckmäßig ist es, den Halm von einer anderen Person in den Händen halten zu lassen, da in diesem Fall die freie Drehbarkeit in den "Auflagern" nicht gewährleistet ist.

Entscheidend wichtig ist es, die Federwaage in einem Knoten des Halmes einzuhängen, sonst wird das Probestück durch den Querdruck zerquetscht anstatt durch das Biegemoment gebrochen. Wenn dabei die beiden Auflagerpunkte nicht auf einen Knoten fallen, so spielt dies keine Rolle, denn erstens ist dort der Querdruck nur halb so groß und zweitens das Biegemoment gleich Null, so daß die Quetschgefahr hier viel kleiner ist und den Biegebruch nicht beeinflußt. Da



**Fig. 4.1.** Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung zur feldmäßigen Messung der Biegebruchfestigkeit.



**Fig. 4.2.** Behelfsmäßige Meßeinrichtung in Othfresen. Als Auflager dienten die zwei senkrechten, an das Metallgestell gebundenen Zeltstangen. Die Halmstücke wurden wie in Fig. 4.1. hinter die Stangen gehalten. Sobald mit der Federwaage etwas Kraft ausgeübt wurde, verhinderte die Reibung das Herunterfallen des Halmes, so daß er losgelassen werden konnte.

die Durchbiegung in diesen Versuchen nicht gemessen wird, spielt die zusätzliche Verformung durch das Zusammendrücken des Halmstücks auf den Auflagern keine Rolle.

Um vergleichbare Resultate zu erhalten, sollte die Belastung immer gleich schnell aufgebracht werden. Mit Vorteil bedient deshalb immer die gleiche Person die Federwaage. Noch besser wäre eine stark unersetzte Kurbelwinde, welche eine langsame und gleichmäßige Zunahme der Durchbiegung gewährleistet.

Als Bruchlast wird der maximale, auf der Federwaage abgelesene Wert definiert, das Biegebruchmoment wird mit den Gleichungen (1.33) bzw. (1,34) berechnet, die ideelle Bruchspannung mit (1.27) (vgl. auch Kap. 3.3.).

#### 4.2.2. Resultate

In der Othfreser Kläranlage (vgl. Kap. 3.4.2.) entnahmen wir bei den selben sechs Flächen wie für die Laborversuche je gut 20 Halme, um sie mit der beschriebenen Methode zu prüfen. Da die Entnahme von zweimal 20 Halmen einen gewissen Platz beansprucht, muß eventuell damit gerechnet werden, daß an den Orten wo der Belastungsgradient sehr groß ist, nicht alle Halme einer Entnahmestelle unter gleich starker Nährstoffeinwirkung stehen. Wie aus den Figuren 4.3. und 4.4. (Durchmesser der geprüften Halme in den untersten und zweituntersten Stücken) hervorgeht, bestehen zwischen den beiden Stichproben jeder Fläche (Labor- und Feldversuche) gewisse Unterschiede in der Halmdicke. Ob dies auf unterschiedliche Nährstoffbelastung zurückgeführt werden kann, bleibt allerdings fraglich, da die Abweichungen mit Ausnahme der Flächen 4 und 5 kleiner sind als das 95%-Konfidenzintervall der Mittelwerte und auch bei den Flächen 4 und 5 immer noch ungefähr dem 99%-Konfidenzintervall entsprechen.

Die Resultate sind zahlenmäßig in der Tabelle 4.1., graphisch in der Fig. 4.5. dargestellt. In der Tabelle sind ebenfalls die Korrelationskoeffizienten zwischen ideeller Bruchspannung und Durchmesser angegeben. Obschon diese hier zum Teil niedrig sind, folgt (analog zur Darstellung der Resultate der Laborversuche) in den Figuren 4.6. und 4.7. noch die graphische Darstellung der Einzelwerte in Funktion des Durchmessers.

Der Vergleich der Mittelwerte zeigt eine tendenzielle Abnahme der ideellen Bruchspannung in Richtung zunehmender Flächennummer (und damit Nährstoffbelastung). Dabei fallen die niedrigen Werte in der Fläche 2 besonders auf. Bei der Betrachtung der Einzelwerte stellt man fest, daß bei den untersten

Stücken eigentlich nur die Flächen 0 und 1 durch höhere Werte charakterisiert sind. (Bei der Fläche 1 ist noch zu beachten, daß deren Bereich in der Figur 4.6. durch den sehr hohen Maximalwert vielleicht allzu stark nach oben erweitert wird.) Bei den zweituntersten Stücken decken sich die Bereiche der einzelnen Flächen noch mehr, nur die Fläche 5 liegt deutlich niedriger.

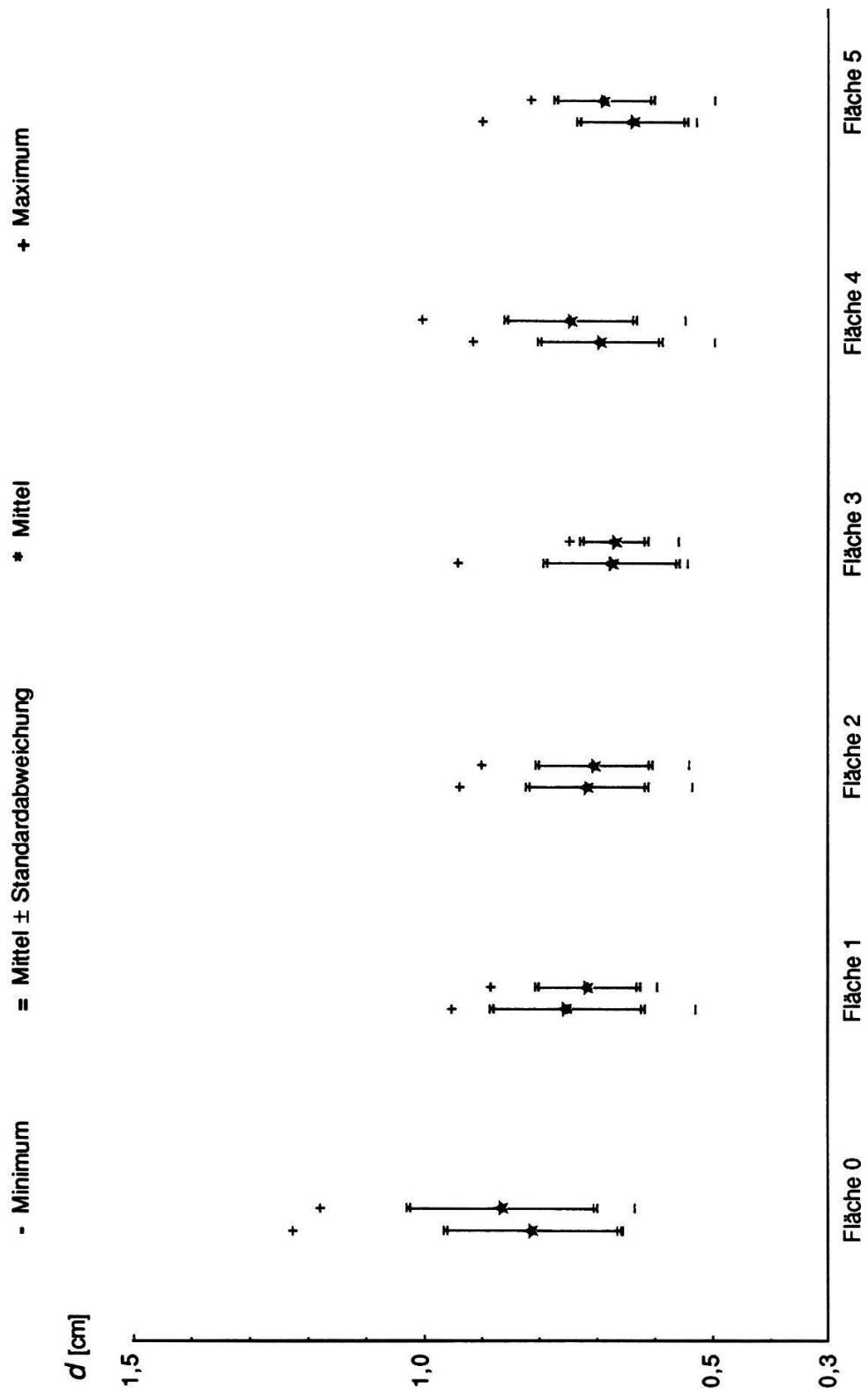
Zwischen den Resultaten der Labor- und der Federwaagemessungen zeigen sich im Einzelnen somit beträchtliche Unterschiede, obwohl die Absolutwerte nur um rund 5 - 15 % differieren (Fig. 4.8.). Aus dieser Figur ist ersichtlich, daß die Laborwerte für die Flächen 1, 2 und 4 höher liegen, bei der Fläche 3 tiefer. Bei den beiden übrigen Flächen, 0 und 5, liegt je ein Wert (unterste bzw. zweitunterste Stütze) höher und einer tiefer. Die Ursachen dieser Unterschiede lassen sich nicht leicht erklären. Eine Rolle mag die Tatsache der unterschiedlichen Nährstoffbelastung innerhalb einer Entnahmefläche spielen. Gegen eine starke Bewertung dieses Einflusses spricht allerdings, daß bei den untersten Stücken gerade die Flächen 2 und 3, welche die größten Abweichungen zwischen den beiden Meßmethoden zeigen, hinsichtlich des Durchmessers am besten übereinstimmen (Fig. 4.3.). Daß die beiden Methoden die (allfällige) Auswirkung des Nährstoffgradienten auf die ideelle Bruchspannung unterschiedlich abbilden, liegt m. E. darin, daß in den beiden Fällen nicht genau dasselbe gemessen wird: Bei der Vierpunktllagerung (Laborversuche) wird ein 10 cm langes Halmstück oberhalb eines Knotens gleichmäßig belastet, der Bruch ereignet sich daher an der schwächsten Stelle dieses Abschnittes. bei den Versuchen mit der Federwaage dagegen tritt das maximale Biegemoment im Knoten und dessen unmittelbarer Nachbarschaft auf, so daß die Festigkeit dieser Partie die Höhe der ideellen Bruchspannung bestimmt.

Die Unterschiede zwischen den Flächen sind (bei Betrachtung der Einzelstücke in Funktion des Durchmessers) bei den Federwaageversuchen kleiner als bei den Labormessungen. Daraus kann geschlossen werden, daß sich unterschiedliche Standortsbedingungen im Knoten und dessen unmittelbarer Umgebung weniger deutlich auswirken als im eigentlichen Internodium. Die Resultate von Federwaageversuchen werden daher nur die markanten Unterschiede widerspiegeln und sind deshalb mit der gebührenden Vorsicht zu interpretieren. Nicht direkt vergleichbar sind damit auch die Meßwerte von Versuchen mit Drei- und Vierpunktllagerung.

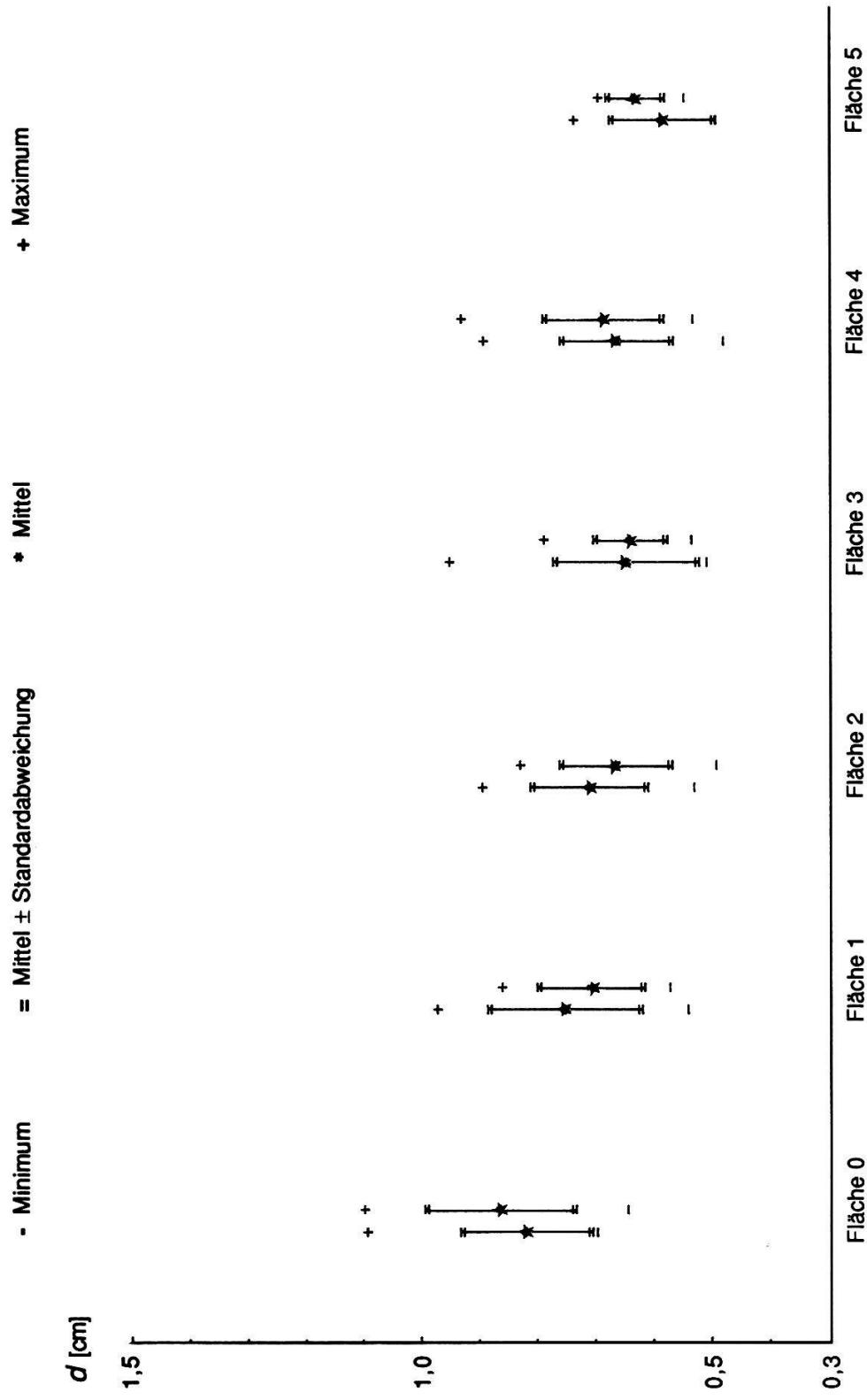
**Tab. 4.1.** Durchmesser, Bruchmoment (Minimum, Mittel, Maximum) und ideelle Bruchspannung (Mittelwert, Standardabweichung des Mittelwerts) der mit der Federwaage geprüften Halmstücke aus Othfresen.

Stk (Stück): Bezeichnung der Position innerhalb des Halms, von unten nach oben  
 $r$ : Korrelationskoeffizient zum Durchmesser

Fläche (Bezeichnung gemäß Text Kap. 3.4.2.)											Stk.	
0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
<b>Durchmesser [cm]</b>												
0,64	0,60	0,54	0,56	0,55	0,50							
0,86	0,71	0,72	0,67	0,75	0,69							1
1,18	0,89	1,01	0,75	1,01	0,82							
0,64	0,57	0,49	0,53	0,53	0,55							
0,85	0,71	0,68	0,64	0,69	0,62							2
1,10	0,86	0,95	0,79	0,93	0,69							
<b>Ideeelle Bruchspannung [N/cm<sup>2</sup>]; <math>r</math></b>						<b>Bruchmoment [N·cm]</b>						Stk.
3697	3520	3066	3171	3068	2943	98	65	53	57	35	44	
±148	±169	±173	±150	±148	±217	236	129	114	95	131	93	1
$r = -,58$	-0,16	-0,54	-0,41	-0,24	-0,56	502	259	229	128	322	161	
2912	2769	2493	2796	2749	2590	55	41	19	33	33	19	
±118	±161	±162	±158	±143	±188	185	98	81	72	90	64	2
$r = -,24$	-0,24	-0,10	-0,37	-0,28	0,61	398	175	169	101	240	112	



**Fig. 4.3.** Durchmesser der geprüften Schilfhalme aus Othfresen, unterste Stücke.  
Bei jeder Fläche von links nach rechts: Hälme der Laborversuche (Kap. 3.4.2.), Hälme der Federwaagenversuche.



**Fig. 4.4.** Durchmesser der geprüften Schilfhalme aus Othfresen, zweitunterste Stücke.  
Bei jeder Fläche von links nach rechts: Halme der Laborversuche (Kap. 3.4.2.), Halme der Federwaagenversuche.

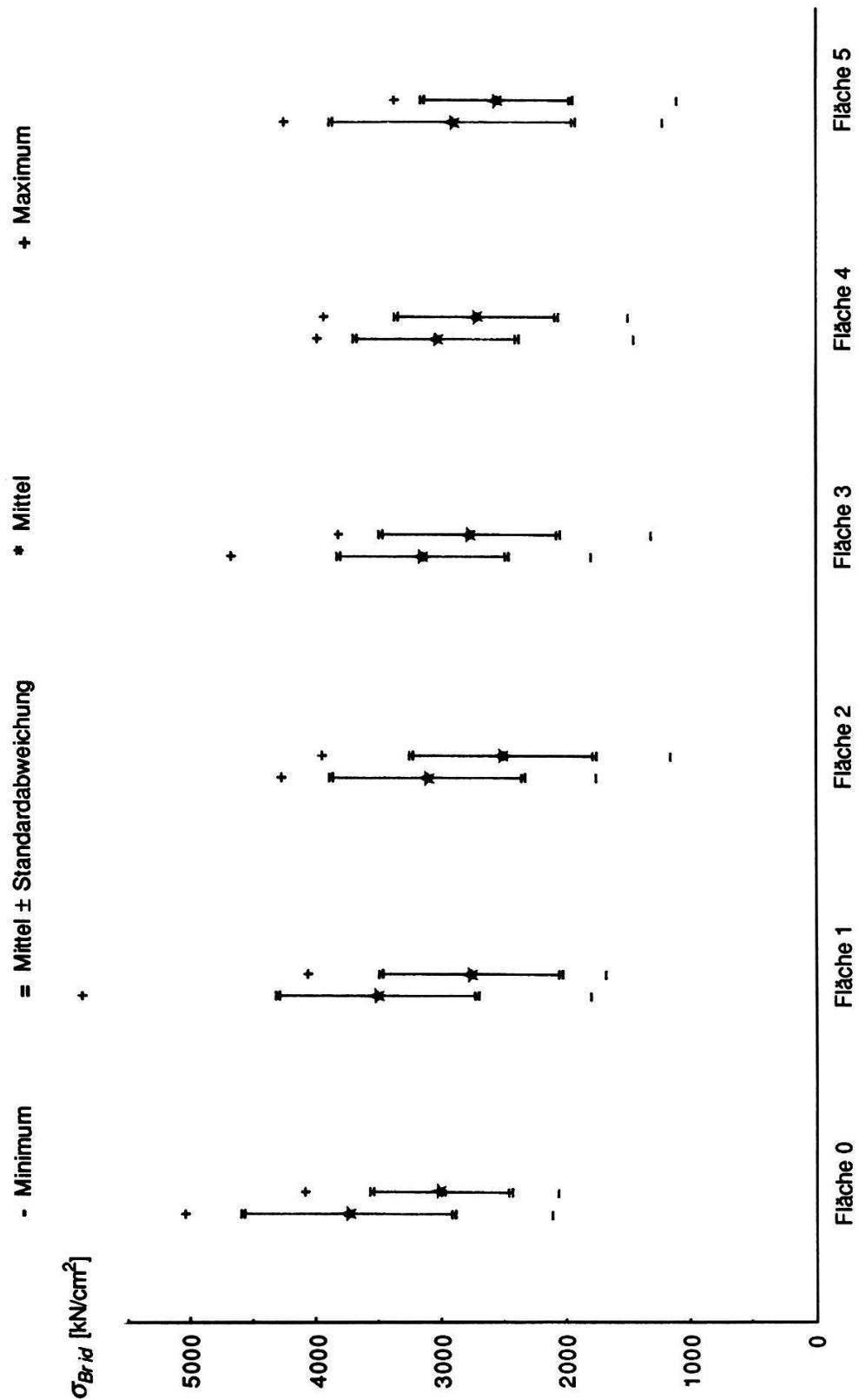


Fig. 4.5. Ideelle Bruchspannung der mit der Federwaage geprüften Schilfhalme aus Othfresen.  
Bei jeder Fläche von links nach rechts: Unterste und zweitunterste Stücke

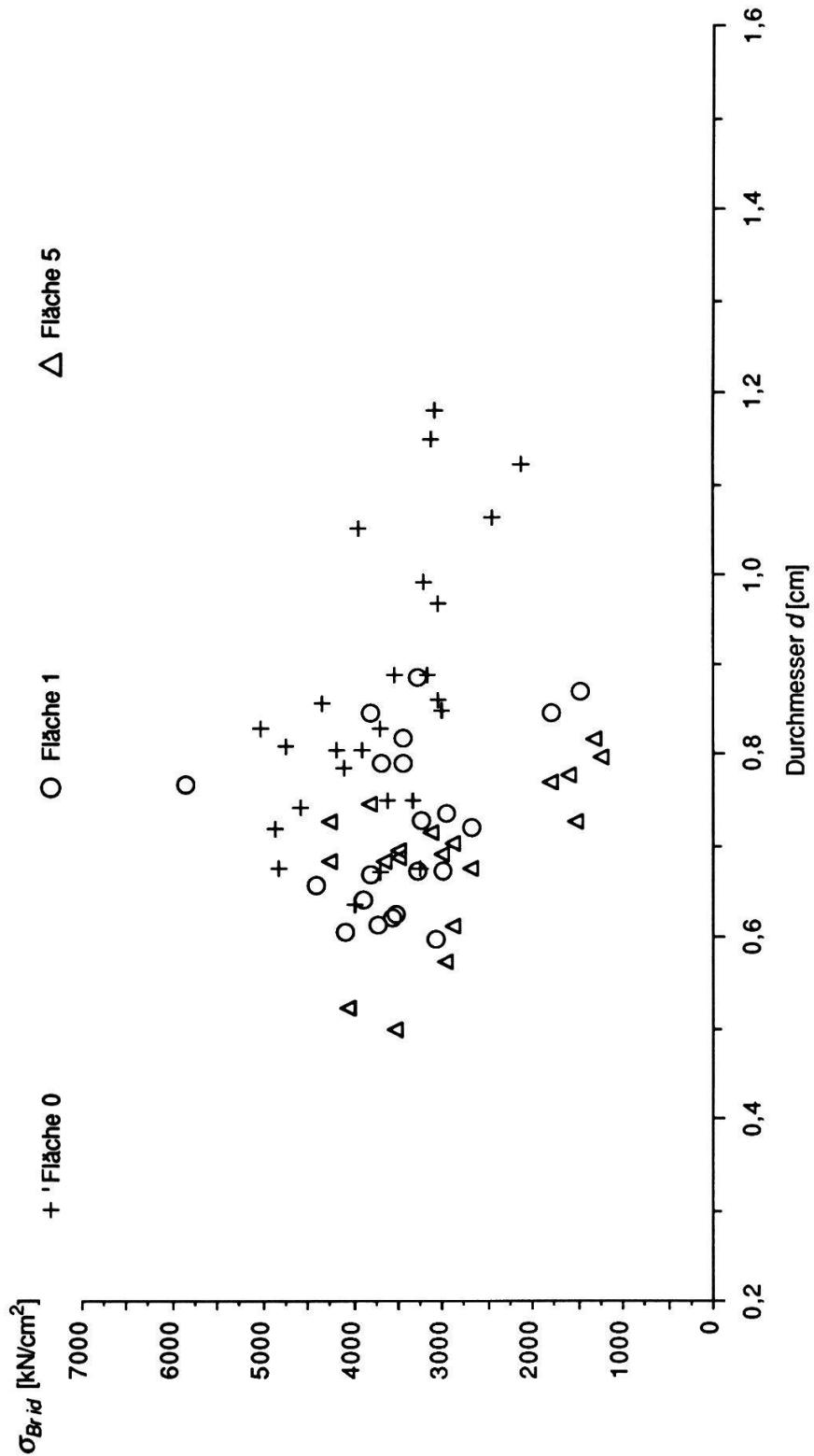


Fig. 4.6. Ideelle Bruchspannung der Schilfhalme aus Othfresen (Federwaage) in Funktion des Durchmessers, unterste Stücke.  
Flächen 0, 1 und 5

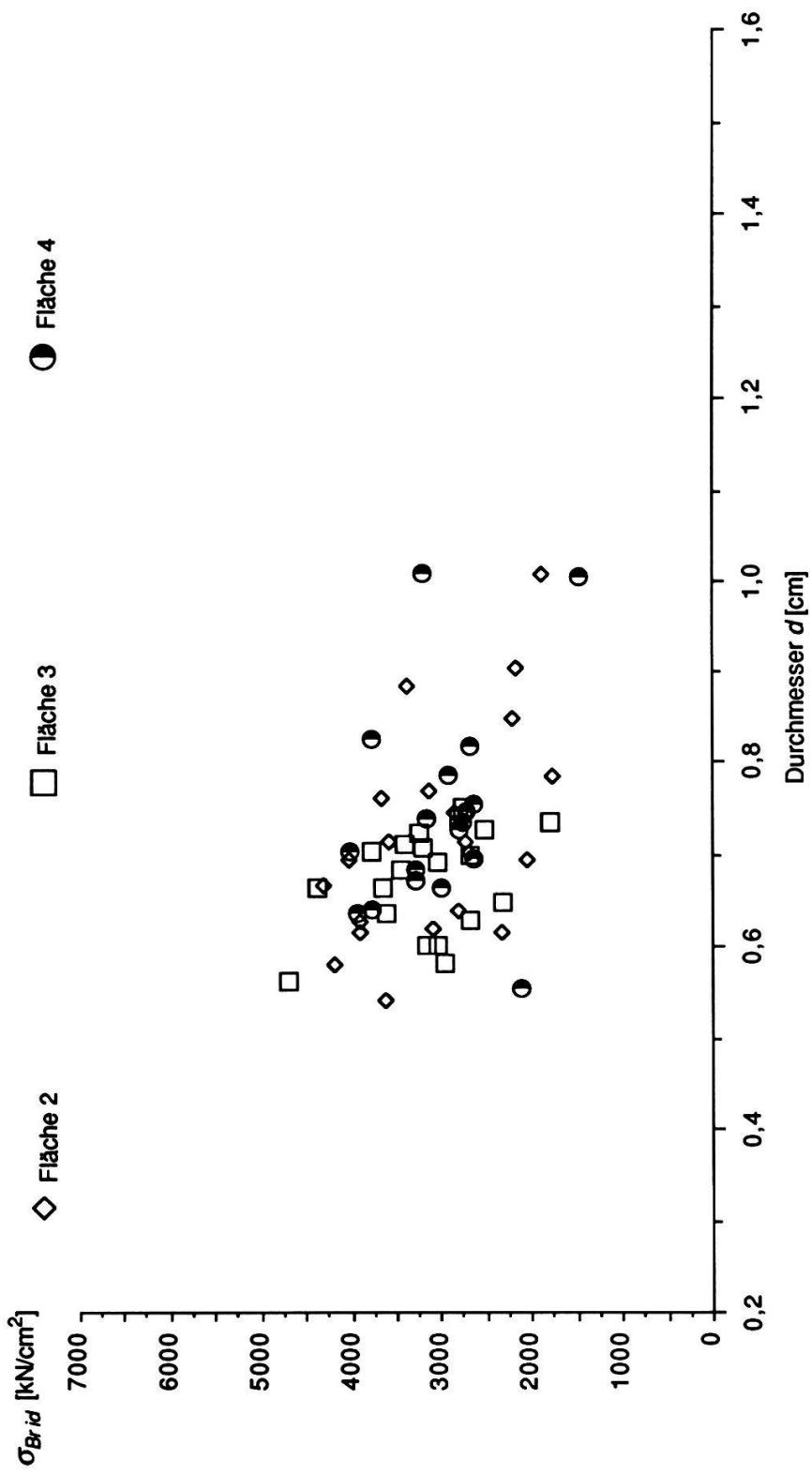


Fig. 4.6. (Fortsetzung)  
Flächen 2, 3 und 4

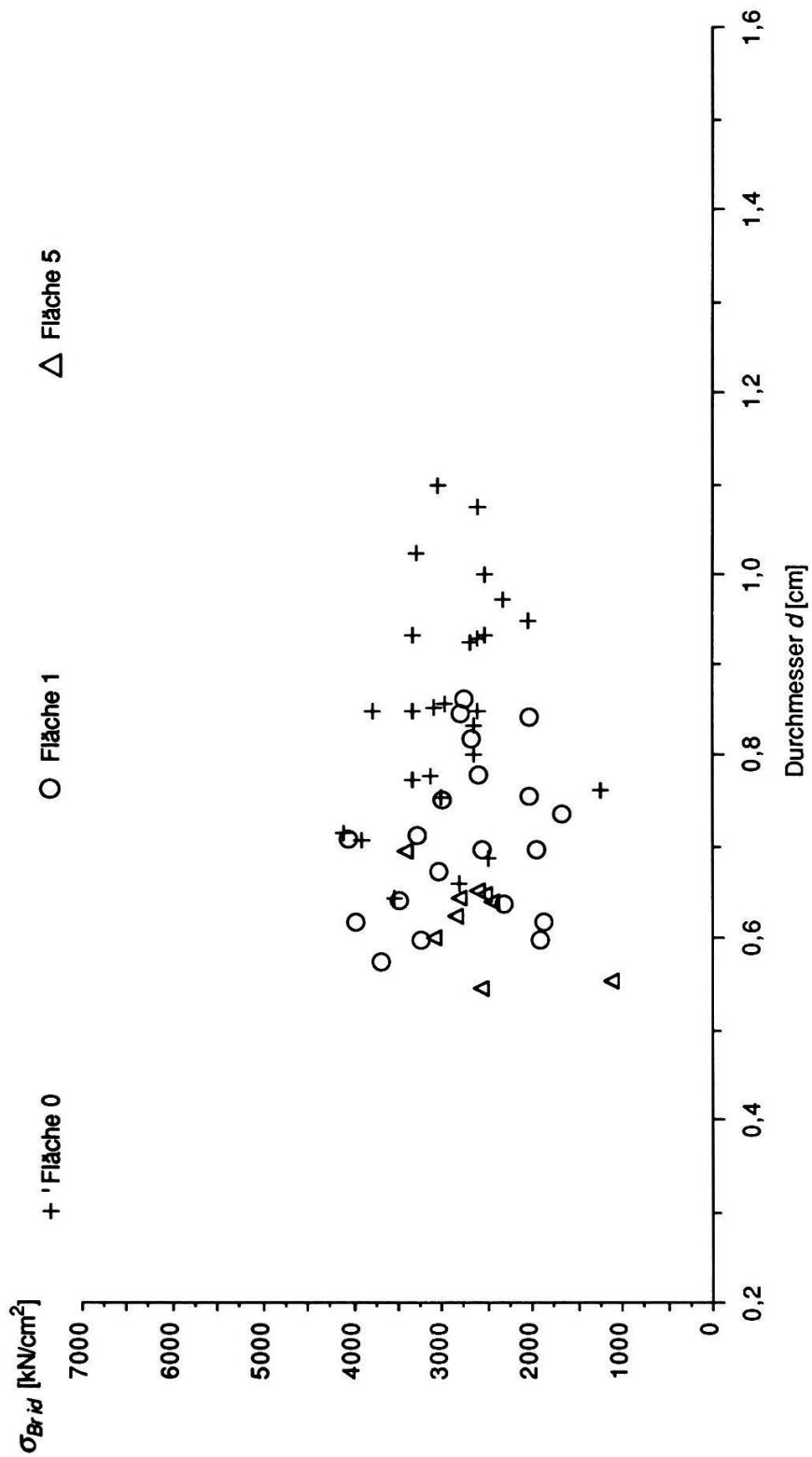


Fig. 4.7. Ideelle Bruchspannung der Schilfhalme aus Othfessen (Federwaage) in Funktion des Durchmessers, zweitunterste Stücke.  
Flächen 0, 1 und 5

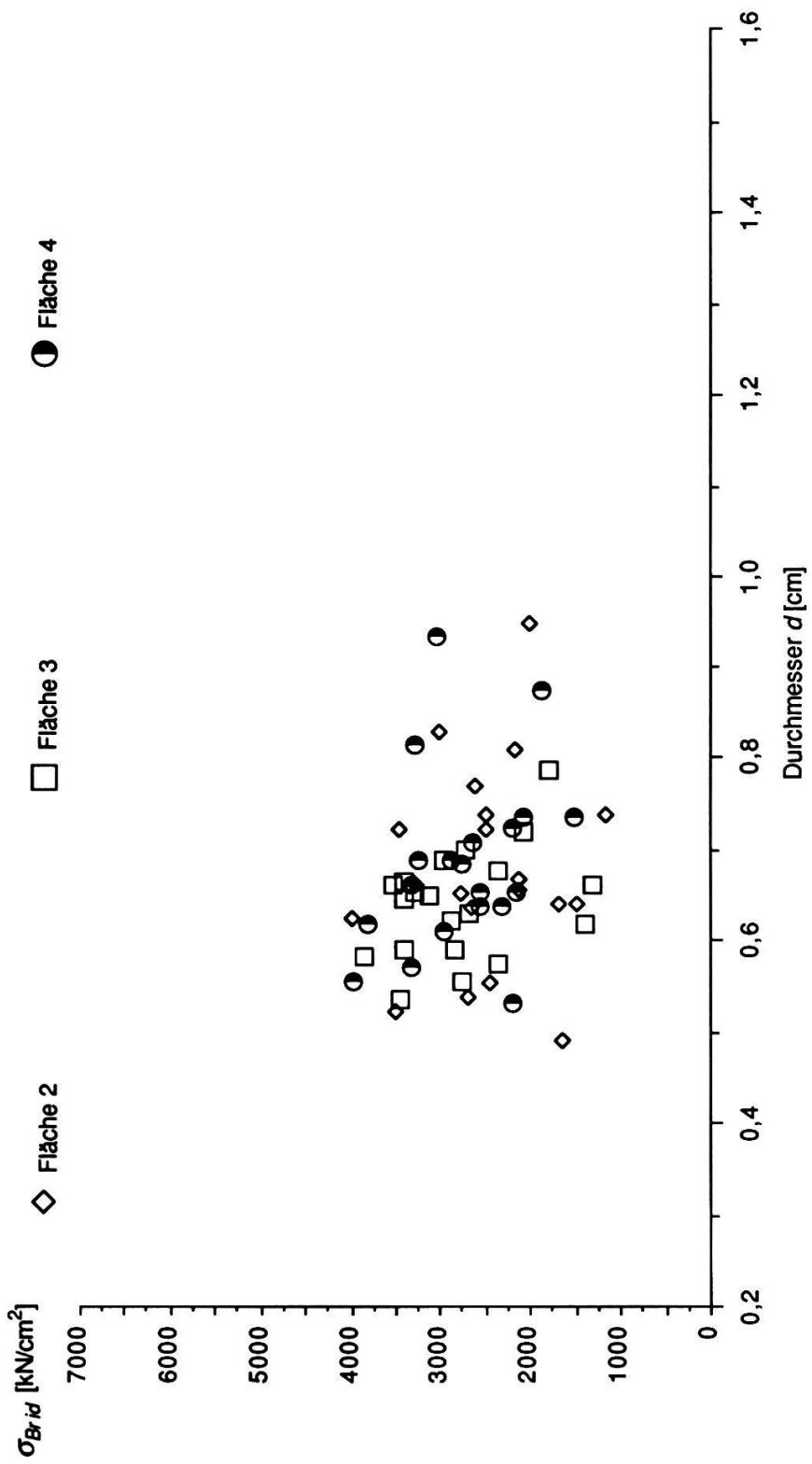
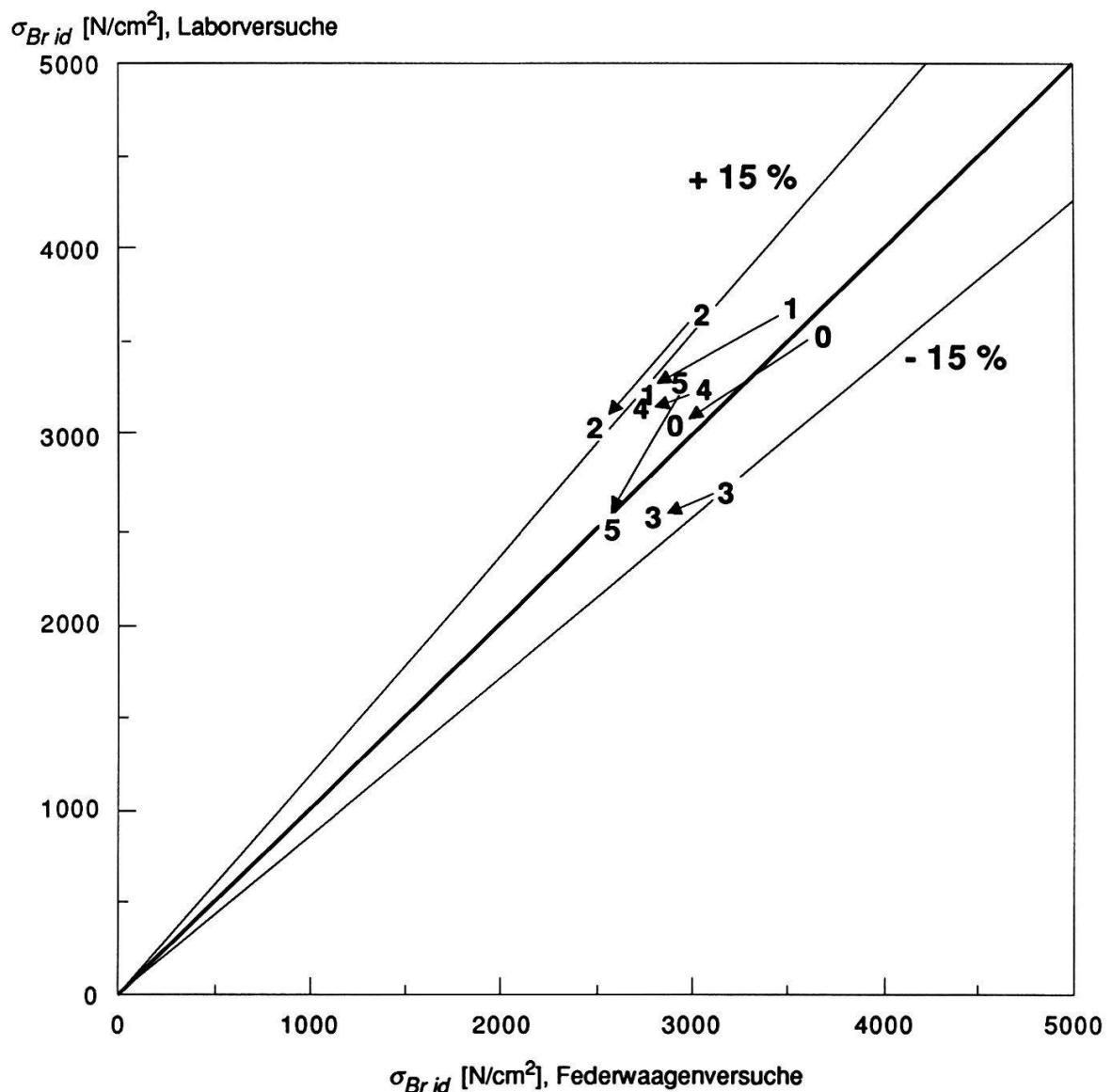


Fig. 4.7. (Fortsetzung)  
Flächen 2, 3 und 4



**Fig. 4.8.** Vergleich der Mittelwerte der ideellen Bruchspannung der Schilfhalme von Othfresen, gemessen im Labor und mit der Federwaage.

Die Zahlen in der Figur repräsentieren die entsprechend numerierten Flächen, und zwar je für die untersten (Anfang des Pfeils) und zweituntersten Stücke (Pfeilspitze).

## 4.3. MESSUNG DER BIEGESTEIFIGKEIT MIT EINER TRANS- PORTABLEN PRÜFEINRICHTUNG

### 4.3.1. Versuchseinrichtung

Das statische System ist wie bei den Federwaage-Bruchversuchen eine Dreipunktlagerung mit Belastung in der Mitte (vgl. Fig. 1.5. bzw. Anordnung 2 in Fig. 1.7.). Im Gegensatz zu den im vorigen Kapitel beschriebenen Messungen muß zur Bestimmung der Biegesteifigkeit den Auflagern größte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der Halm muß sich in ihnen frei drehen können, ebenso muß die Auflagerkraft über eine möglichst große Fläche in den Halm eingeleitet werden, um das Quetschen zu verhindern. Der Halm wird auch hier so gelegt, daß sich in der Mitte (Lasteinleitung) ein Knoten befindet, ebenfalls um das Quetschen zu verhindern. In der Mitte wird auch die Durchbiegung gemessen. Wenn diese Anforderungen erfüllt sind, spielt die Ausführung im einzelnen keine Rolle und kann sich nach den gerade verfügbaren Materialien richten. Dies gilt auch für unsere, in Fig. 4.9. schematisch gezeichnete Lösung, welche von R. GRAF in Zusammenarbeit mit der Freizeitwerkstätte der ETH verwirklicht wurde.

Als Ständer diente die Halterung eines ausrangierten Quecksilberbarometers, auf welche wir oben eine Aluminiumplatte schraubten. Auf deren Oberkante befestigten wir verschiebbar zwei kugelgelagerte Metallzylinder mit eingefräster Nute. Diese Nute wurde so breit gemacht, daß die schon bei den Laborversuchen verwendeten Holzklötzchen (vgl. S. 359 und Fig. 3.2.) mit halbrunder Aussparung gerade hineinpaßten. Die Last wurde über ein zu einem breiten Haken gebogenes Blechstück eingeleitet. Auf dessen Oberseite kam der Stift einer Meßuhr zu liegen, welche die Verschiebungen mit einer Genauigkeit von 1/100 mm abzulesen gestattete. Da der Knoten in der Halmoberfläche eine Erhebung bildet, wurde die Last trotz der Breite des Bleches sozusagen in einem Punkt eingeleitet, ebenso behinderte das Blech nicht die Verkrümmung des Halmes in der Mitte. Die Belastung wurde über einen unten umgelenkten Faden mit zwischengehängter Federwaage aufgebracht. So konnte eine Person, vor dem Gerät sitzend, durch Ziehen des Fadens langsam die Belastung steigern und gleichzeitig die Federwaage (Belastung) und die Meßuhr (Durchbiegung) ablesen. Die Belastung steigerten wir meist in Stufen von 2 N, bei dünneren Stücken in Stufen von 1 bzw. 0,5 N.

Wie man sich beim Betrachten der Figur 4.9. leicht vorstellen kann, ist die ganze Einrichtung mit der Aluminiumplatte und den ziemlich weit vorstehenden Auflagern keineswegs starr, sondern verformt sich unter der Belastung ebenfalls.

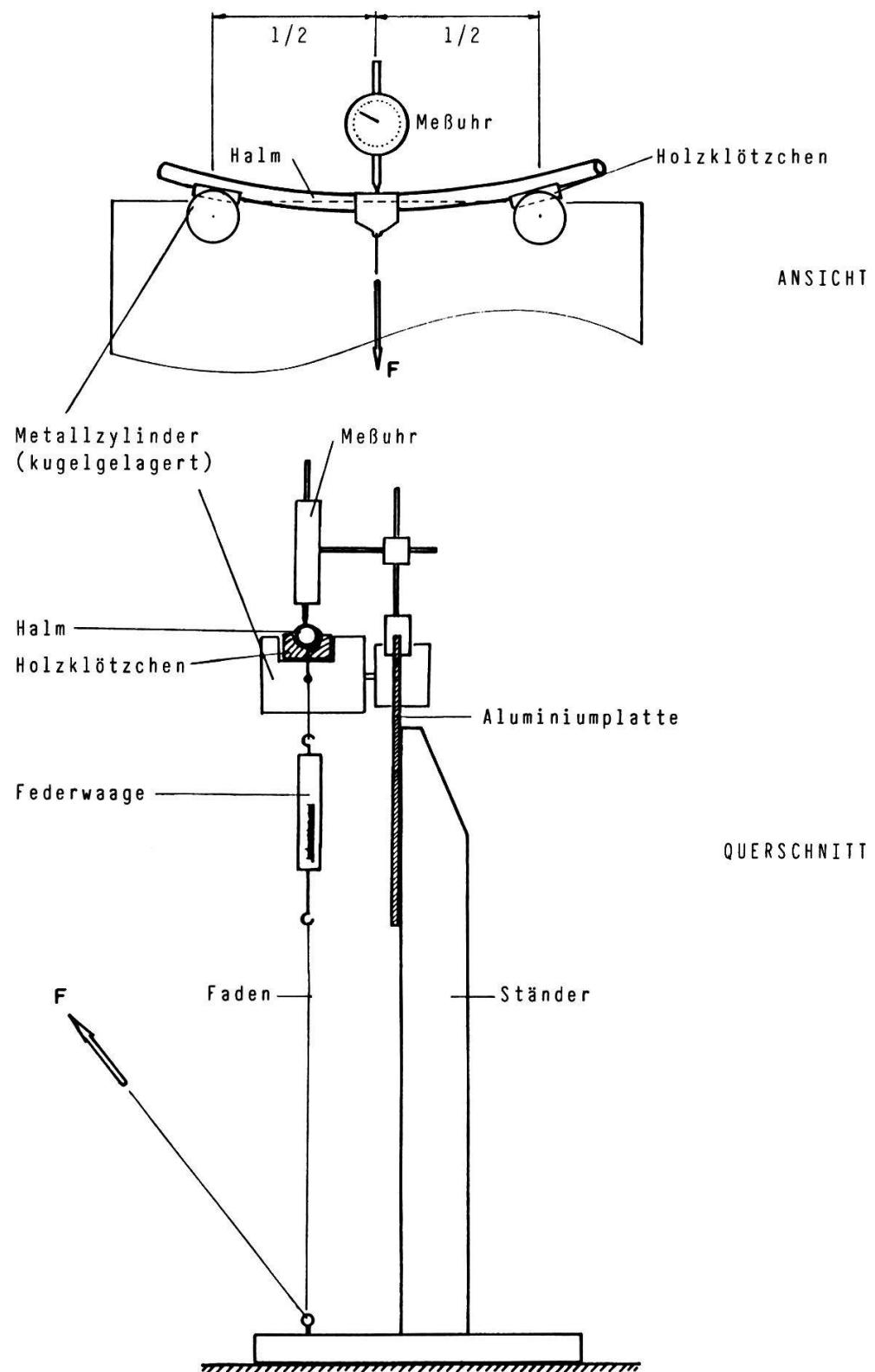


Fig. 4.9. Transportables Prüfgerät zur Messung der Biegesteifigkeit von Schilfhalmen.

Um diesen Fehler zu korrigieren, eichten wir das Gerät mit einem massiven Eisenstab, den wir in der selben Weise belasteten wie die Schilfproben. Die dabei abgelesenen Durchbiegungen zogen wir von den Ablesewerten bei der Prüfung der Halme ab. Der verwendete Eisenstab war so dick, daß seine eigene Durchbiegung unter der Belastung von einigen N völlig vernachlässigt werden konnte. Aus den Meßwerten berechneten wir die Biegesteifigkeit  $E \cdot J$  gemäß Kap. 1.3.1., Gleichung (1.30) und Fig. 1.8..

#### 4.3.2. Resultate

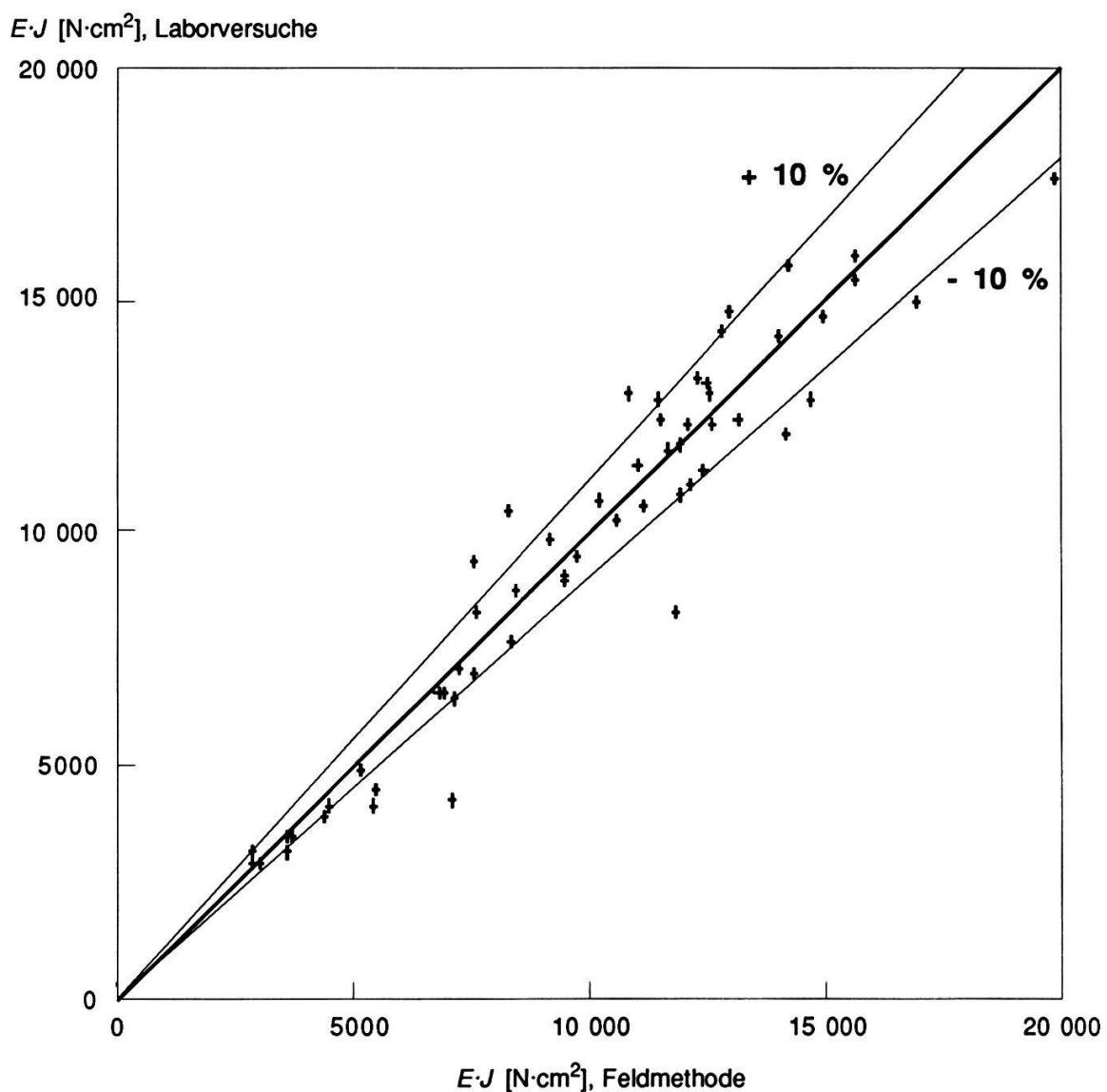
Der Zweck unserer Versuchsserie bestand im Testen dieser Methode. Dazu verwendeten wir alle Halme aus der Fläche 1, welche für die Laborversuche bestimmt waren. Da die Labormessungen zum Bruch und damit zur Zerstörung der Probe führen, maßen wir vorgängig die Biegesteifigkeit mit dieser Feldmethode, wobei wir besonders darauf achten mußten, die Halmstücke ja nicht zu stark (über die Grenzbeanspruchung hinaus) zu belasten. Da die Grenzbelastung zum voraus nicht bekannt ist, erforderte die Sache ein wenig Fingerspitzengefühl; die Kontrolle ergab sich aus der Beobachtung der Verformungen: solange die Zunahme der Durchbiegung pro Laststufe ungefähr konstant blieb, befanden wir uns noch innerhalb des linear-elastischen Bereichs.

Da die Durchmesser der Halmstücke aus der Fläche 1 nicht allzu stark variierten, konnten wir alle Proben mit der einheitlichen Spannweite (Auflagerdistanz) von  $l = 20$  cm prüfen.

Die Ergebnisse sind in den Figuren 4.10. und 4.11. dargestellt. In Fig. 4.10. sind alle Einzelwerte aufgetragen. Bis etwa  $7000 \text{ N} \cdot \text{cm}^2$  liegen die Werte aus den Labormessungen unter jenen aus den Messungen mit dem transportablen Gerät, bei den steiferen Stücken kommen geringere und größere Werte für die Laborversuche etwa gleich häufig vor. Aus der Abbildung ist ferner zu sehen, daß beim Großteil der Werte der Unterschied nicht mehr als gut 10 % beträgt. Dasselbe geht auch aus der folgenden Abbildung hervor, wo die Mittelwerte und Streuungen der Biegesteifigkeit aufgetragen sind, aufgeschlüsselt nach der Position der Probe innerhalb des Halmes. Im Mittelwert über alle Stücke beträgt der Unterschied zwischen den beiden Methoden nur etwa 2 %. Werden nur je die aus der gleichen Position stammenden Stücke betrachtet, so beträgt der maximale Unterschied der Mittelwerte etwa 6 % (unterste Stücke). Am stärksten unterscheiden sich die Maxima, während die Minima außer bei den zweituntersten Stücken fast gleich groß sind. Die Richtung des Unterschiedes ist nicht einheitlich, da bei

den drittuntersten Stücken, anders als bei den übrigen, die Werte aus den Messungen mit der Feldmethode etwas kleiner sind als jene aus den Laborversuchen. Abgesehen von der oben erwähnten Tatsache, daß bei den kleinen Biegesteifigkeiten die Laborversuche etwas niedrigere Werte zu liefern scheinen, kann deshalb angenommen werden, daß die Unterschiede in den Resultaten aus beiden Methoden zufällig sind.

Die gute Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden ist nicht selbstverständlich, denn wegen des variablen Verlaufs der Biegesteifigkeit längs des Halmes ist der errechnete Wert genau genommen abhängig von der Verteilung des



**Fig. 4.10.** Vergleich der Biegesteifigkeit aller Halmstücke der Fläche 1 von Othfresen, gemessen je mit dem transportablen Meßgerät und im Labor.

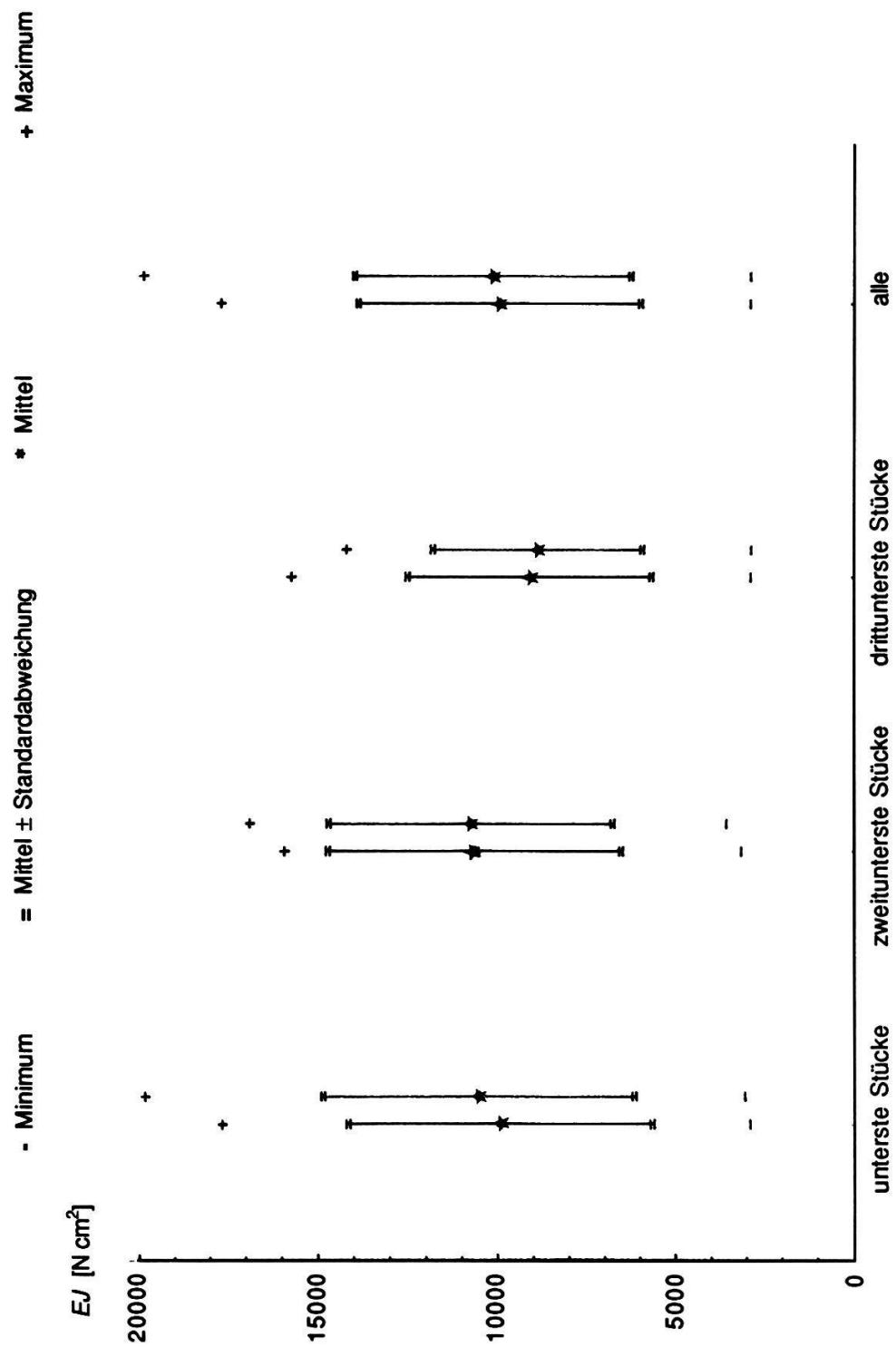


Fig. 4.11. Vergleich der mit den beiden Methoden gemessenen Biegesteifigkeiten der Halmstücke aus der Fläche 1 von Othfressen.  
 Links: Werte der Labormessungen  
 Rechts: Werte mit dem transportablen Gerät gemessen

Biegemomentes, die ja bei Drei- und Vierpunktlagerung verschieden ist, denn die Durchbiegung ist auch beim gleichen Halmstück und gleicher Gesamtbelastung dann größer, wenn die Zone mit dem größeren Biegemoment auf eine weichere Halmpartie zu liegen kommt, als umgekehrt. Die Unterschiede zwischen den beiden Methoden sind wahrscheinlich darum nicht so groß wie bei den Bruchversuchen, weil bei der Ermittlung der Biegesteifigkeit das ganze Halmstück mitberücksichtigt wird, wenn auch, wie gesagt, in unterschiedlichem Ausmaß. Dagegen wird das Bruchmoment nur durch genau den Punkt bestimmt, wo der Bruch effektiv stattfindet.