

Zeitschrift:	Landtechnik Schweiz
Herausgeber:	Landtechnik Schweiz
Band:	35 (1973)
Heft:	8
 Artikel:	Messungen an einem mit Rübenblatt gefüllten glasfaserverstärkten Kunststoffsilo
Autor:	Göbel, W. / Schmidlin, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1070304

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: 13.01.2026

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

Messungen an einem mit Rübenblatt gefüllten glasfaserverstärkten Kunststoffsilo

W. Göbel und A. Schmidlin

1. Einleitung

Noch heute herrscht grosse Unsicherheit in bezug auf die zu treffenden Belastungsannahmen von Gär-futtersilage bei der Konstruktion von Hochbehältern. Da man durch theoretische Betrachtungen und durch Versuche im Labor die genauen Belastungen nicht erfahren kann, werden in einigen Ländern Druckmessungen an bestehenden Silos durchgeführt. Da die Silagedrücke von vielen Parametern wie Silageart, Reifegrad, Trockensubstanzgehalt, Häcksellänge, Silokonstruktion und Fülltechnik abhängen, gelangte man bisher zu keinen eindeutigen Ergebnissen. Mit zutreffenden Belastungsannahmen wäre dem Hersteller gedient, damit er wirtschaftlicher konstruieren

sungen ausgewertet. Im folgenden soll über die Messungen des Jahres 1972 an einem GFK-Silo, der mit Rübenblatt gefüllt wurde, berichtet werden (Abb. 1).

2. Messtechnik

2.1 Messstellen

Die Abmessungen des Silos gehen aus Abb. 2 hervor. Die Wandstärke wurde an 15 Stellen mit dem

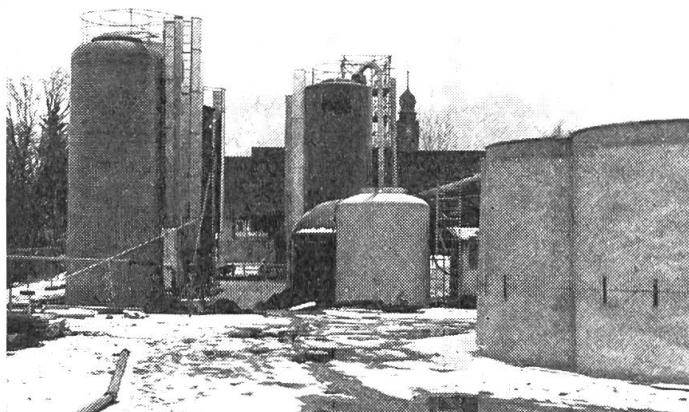


Abb. 1a: Silobatterie

könnte, und der Landwirt hätte den Vorteil, dass ihm der Silo 15 bis 20 Jahre zur Verfügung stehen würde. Das gilt besonders für dünnwandige Silos. Die Silofabrikanten stellten der Eidg. Forschungsanstalt Tänikon mehrere Silos aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), Stahl und Holz zur Verfügung, um an ihnen die durch Gär-futter entstehenden Drücke zu messen. Im Laufe von drei Jahren wurden verschiedene Messmethoden untersucht und viele Mes-

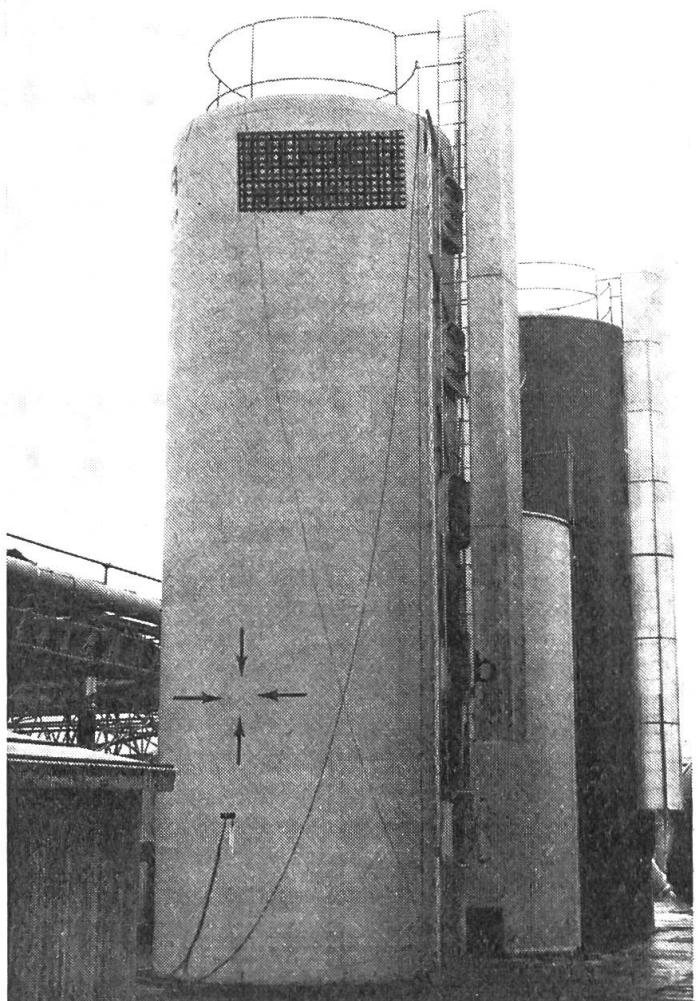
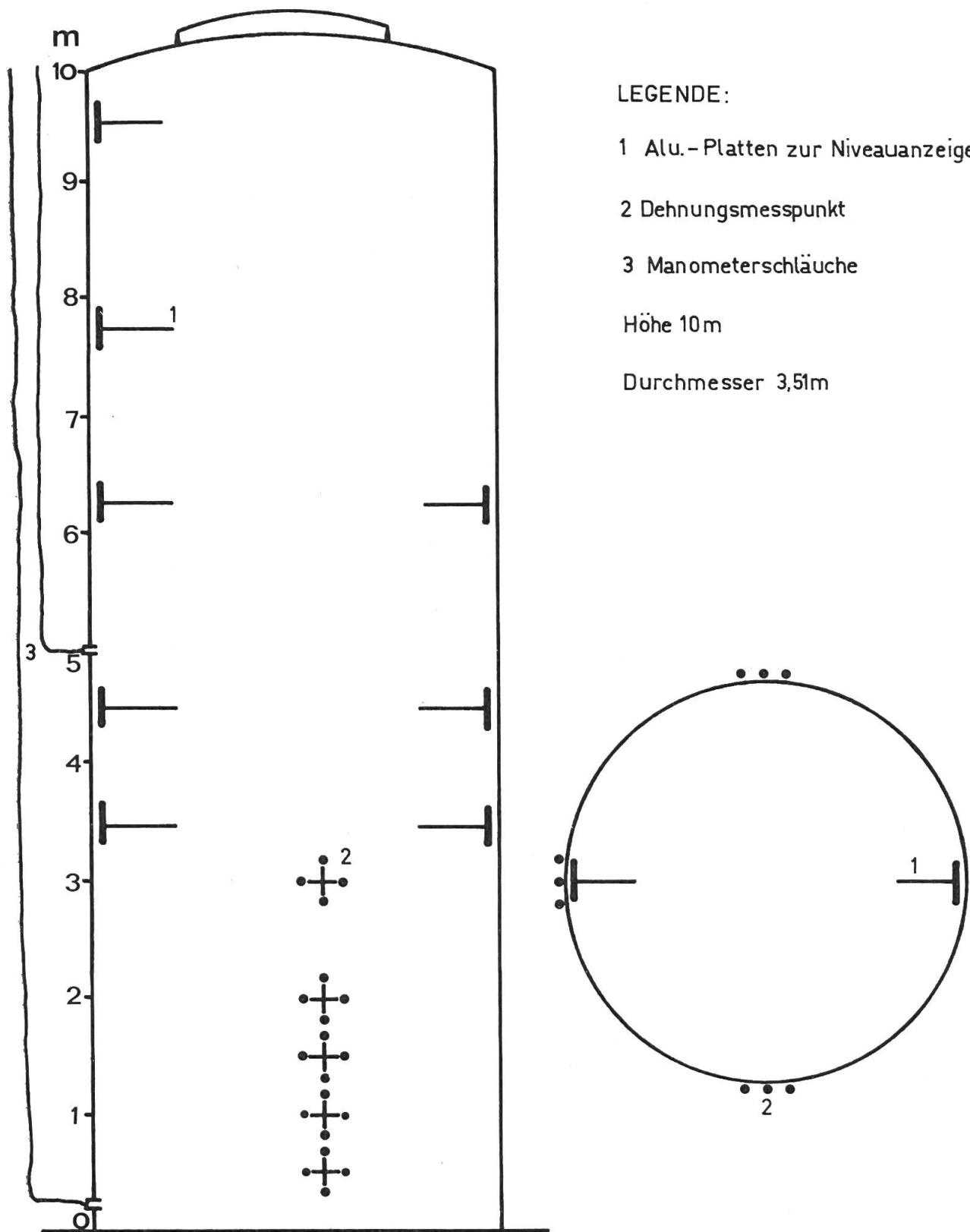


Abb. 1b: Messilo

Abb. 2a

Siloabmessungen und Messanordnung



Wirbelstrommessgerät (Abb. 3a) bestimmt und im Bereich der Luken mit einem Taster überprüft (Direktmessung; Abb. 3a). Das Wirbelstromgerät misst zerstörungsfrei die Stärke von Kunststoff, indem der Abstand zwischen der auf der Innenseite aufgeklebten Aluminiumfolie und der auf der Außenseite angelegten Sonde ausgelotet wird.

Der horizontale Wanddruck (ph) und die Wandreibungskraft (rw) können an einem GFK-Silo nicht

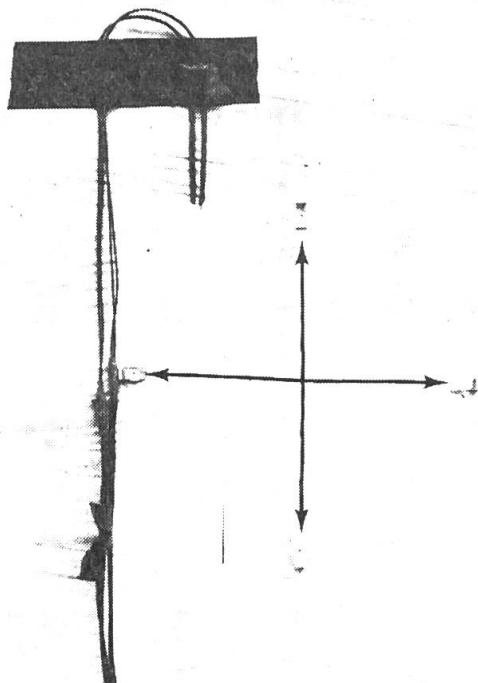


Abb. 1c: Messstelle

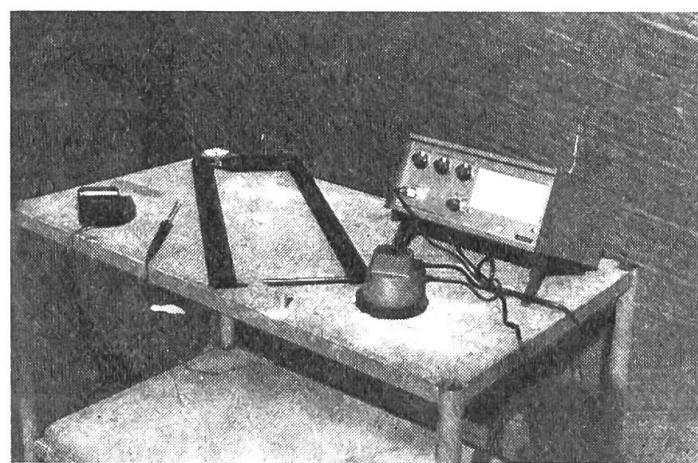


Abb. 3a: v.l.n.r. Tastthermometer, Wanddickenmessgeräte (Schnelltaster und Wirbelstrommessgerät)

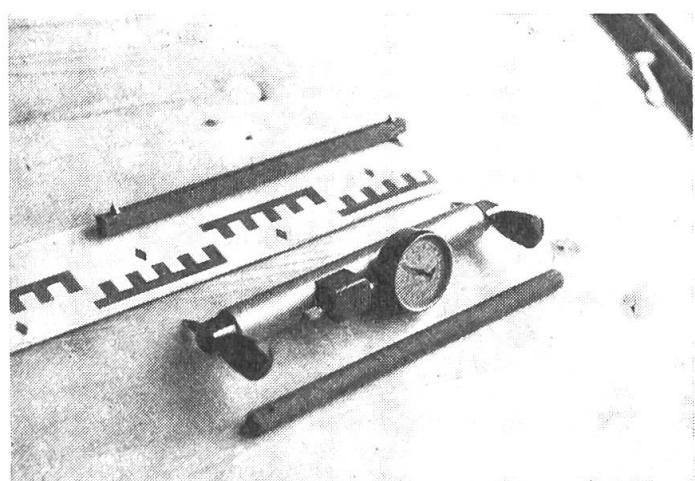


Abb. 3b: mechanischer Dehnweggeber (Deformeter)



Abb. 3c: Präzisionstastthermometer

direkt gemessen werden. Gemessen wird die Dehnung der Wände in drei Mantellinien und fünf Horizonten, also an 15 Messstellen, in vertikaler und horizontaler Richtung (Abb. 2a, 2b, 1b, 1c).

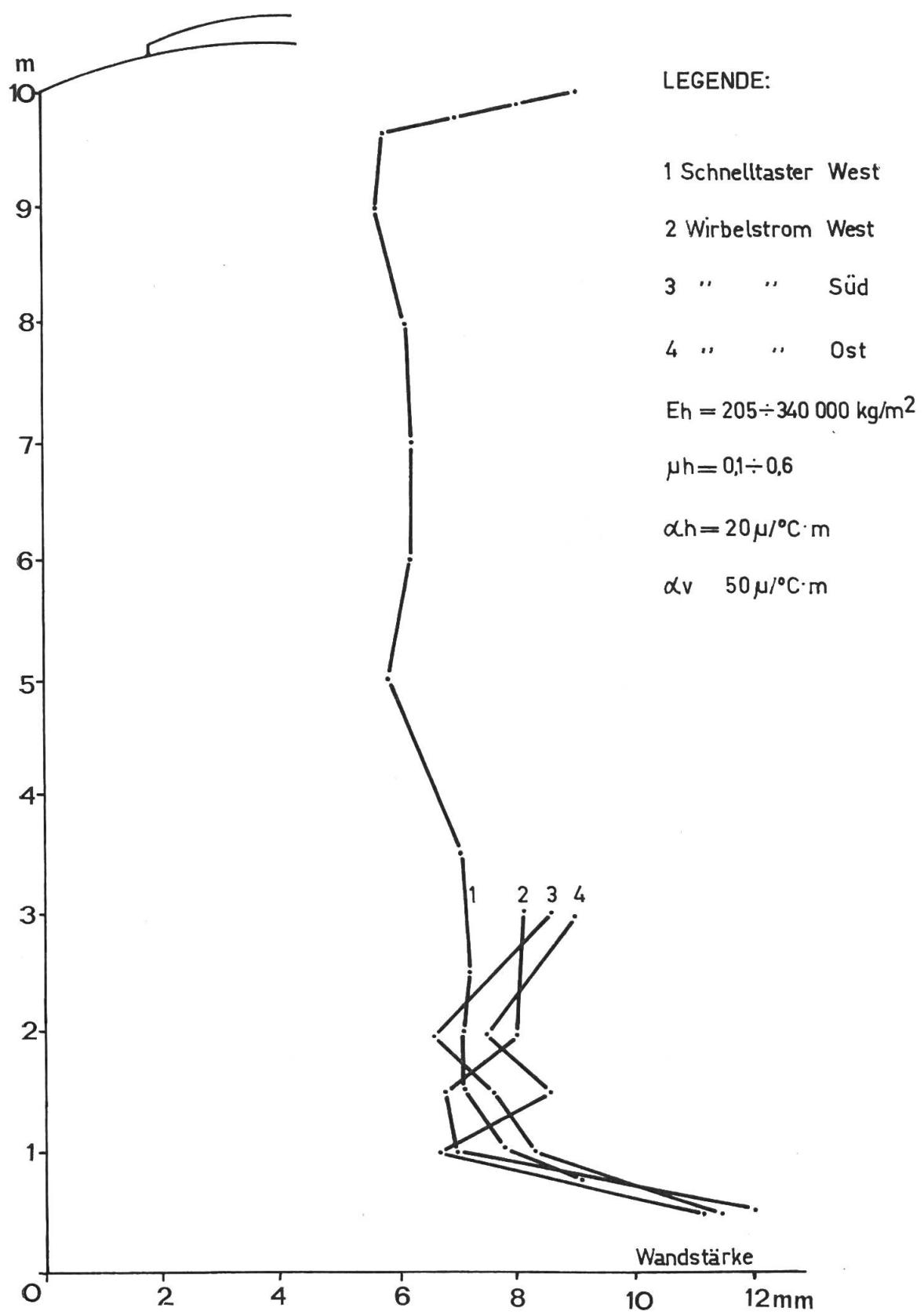
Aus diesen Dehnungen werden ph und rw errechnet, wenn verschiedene Materialeigenschaften des GFK bekannt sind. Die Dehnung selber wird mit einem sogenannten Deformeter D2 der Firma Huguenberger, Zürich, gemessen. Es hat eine Messbasislänge von 254 mm mit einer Ablesegenauigkeit von 1μ (1/1000 mm). Damit beträgt die Messgenauigkeit pro m $2,5 \mu$ (Abb. 3b).

2.2 Messverlauf und Messmethode

Da die GFK-Silos unter freiem Himmel grossen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, mussten, um die Temperatur für alle Messungen rechnerisch

Abb 2b

Siloabmessungen und Messanordnung



kompensieren zu können, die Ausdehnungskoeffizienten ermittelt werden. Dazu wurden die Dehnungen des Silos im Leerzustand bei extremen Temperaturen, aber bei bewölktem Himmel gemessen. Die Temperatur an der Messstelle wurde mit einem empfindlichen Tastthermometer ermittelt (Abb. 3c). Ueberraschenderweise ergaben sich für alle Messstellen als gute Mittelwerte die Koeffizienten:

$$\alpha h = 20 \mu / {}^\circ C \cdot m \text{ und } \alpha v = 55 \mu / {}^\circ C \cdot m$$

(Wobei h für horizontal und v für vertikal stehen)

Der Elastizitätsmodul in horizontaler Richtung (Eh) konnte aus Dehnungen, die durch Wasserfüllung verursacht wurden, berechnet werden.

Die Werte unterschieden sich von Messstelle zu Messstelle wegen der nicht ganz gleichmässig verteilten Glasfasern für Eh zwischen 205 000 und 340 000 kp/cm², wobei auch die Wandstärke nicht genau ermittelt werden konnte. Letztere wird aber später in der Berechnung bedeutungslos. Der Unterschied im E-Modul für Kurzzeit- und Langzeitbelastung blieb vernachlässigbar gering.

Es musste geschätzt werden, wobei grössere Veränderungen von Ev nicht ph sondern nur rw stark beeinflussten. (Auf eine Wiedergabe der Berechnungsformeln von Eh, ph und rw wird an dieser Stelle verzichtet.)

Die Messungen mit Gärgetterfüllung wurden auf einige Wochen hin ausgedehnt, da schon durch vorhergehende Versuche festgestellt wurde, dass ph und rw sehr stark zeitabhängig sind. Da mit Dehnungsmessungen allein die physikalischen Eigenschaften der Silage nicht beschrieben werden können, wurden weitere Messungen vorgenommen.

Die Einfüllmenge wurde gewogen (**91 420 kg** Rübenblatt mit 16,7% TS = 15 267 kg TS); Einfülldaten: 9.10.1972 bis 11.10.1972. Der Silo wurde während der Monate November, Dezember und Januar entleert. (Entnahmegericht **54 100 kg** mit 19% TS = 10 280 kg TS). Die Gewichtsdifferenz betrug **37 320 kg** (Abfluss und geringfügige Verluste durch Gärung).

2.3 Silagesaftabfluss und Setzen des Gärutters

Der Silagesaftabfluss wurde während der Abflusszeit stundenweise aufgefangen und gemessen. Die Messungen lieferten uns die Abflusskurve und die Summenkurve. Die gemessene Abflussmenge ergab

37 750 kg. Bemerkenswert war die gute Übereinstimmung mit der Gewichtsdifferenz (Abb. 4). Das zeitabhängige Setzen des Gärutters wurde genau verfolgt. Zu diesem Zweck wurden in verschiedenen Höhen innen an die Silowand acht mit Alufolie überklebte, quadratisch zugeschnittene Spanplatten (10 cm x 10 cm) gelegt. Da sie auf die Stirnseite einer 1 m langen Dachlatte, die in das Gärutter hineinragte, befestigt waren, gab die Bewegung der Messmarken genau die Bewegung der Silage wieder. Von aussen konnten die Ränder der Alufolie mit einem Metallsuchgerät (Oszilov) sehr genau festgestellt werden (Abb. 3d). Auch wurden am Silo zwei einfache «Manometer» in 50 cm und 500 cm Höhe angebracht. Die «Manometer» waren dünne Plasticschläuche, die durch die Silowand geführt und mit ihr luftdicht verklebt wurden (Abb. 2a und 2b).

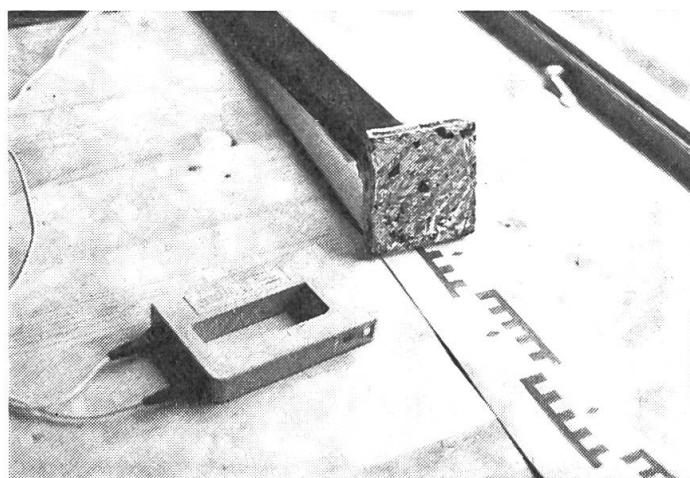


Abb. 3d: Metallsuchgerät (Oszilov) mit Aluminium-Niveauanzeiger

3. Ergebnisse

Die Messergebnisse waren in mehr als einer Hinsicht überraschend und aufschlussreich.

Mit dem Abfluss von 37 t Saft und durch Gärverluste gingen 5 t oder rund $\frac{1}{3}$ aller TS verloren. Zu beachten ist auch, dass innerhalb einer Woche die Hälfte des Saftes abgeflossen war, wobei während der ersten drei Tage gefüllt wurde. Bis zum Beginn des Entleerens des Silos flossen danach stündlich 25 l ab. Der Silagesaftverlust von rund 37,5 t verursachte mit der Zeit ein Setzen der Silage um 36%. Die höchste Füllhöhe betrug 9,70 m. Nach dem Setzen erreichte das

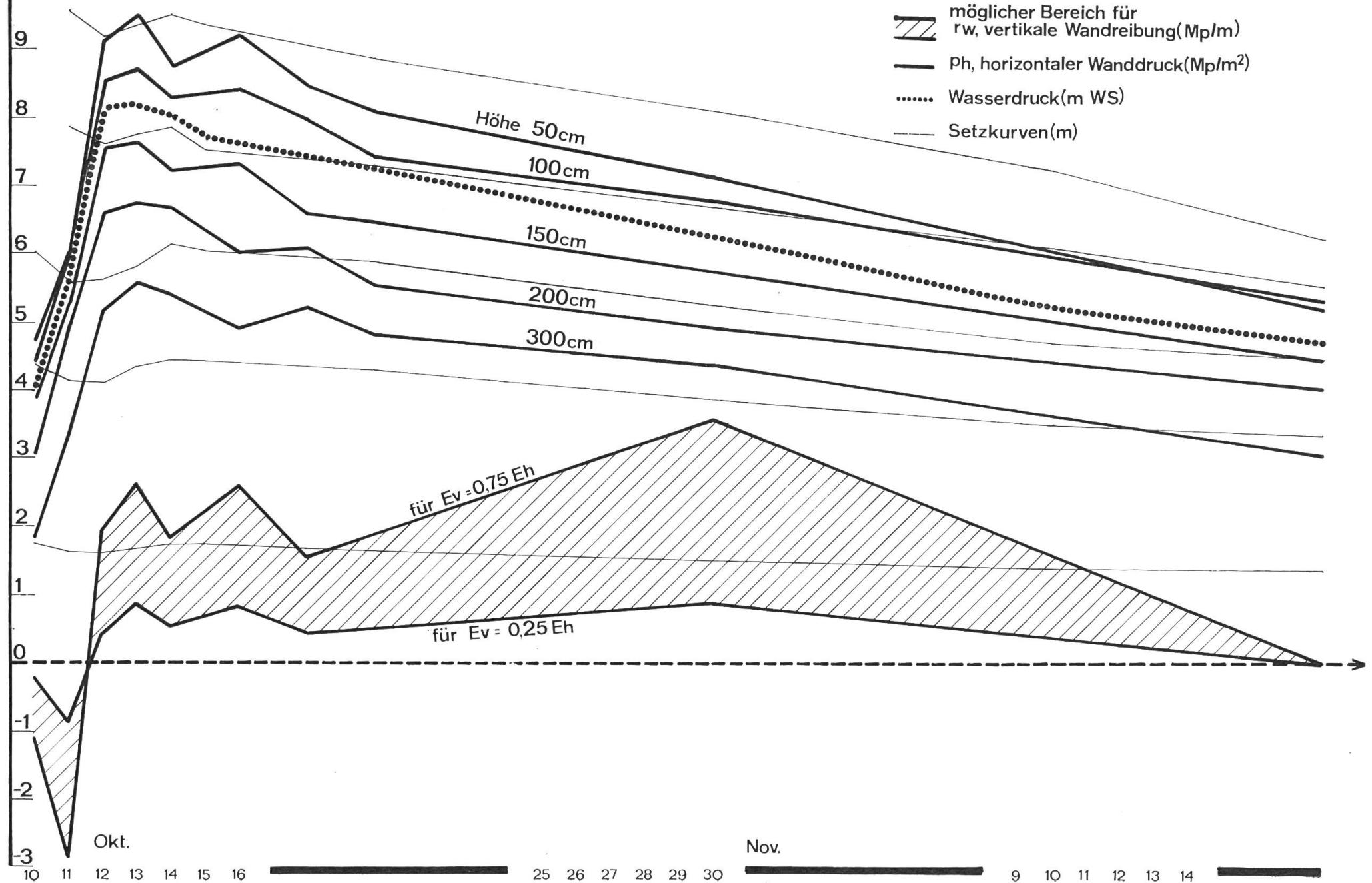
r_w (Mp/m)
 p_h (Mp/m²)
 H (m)

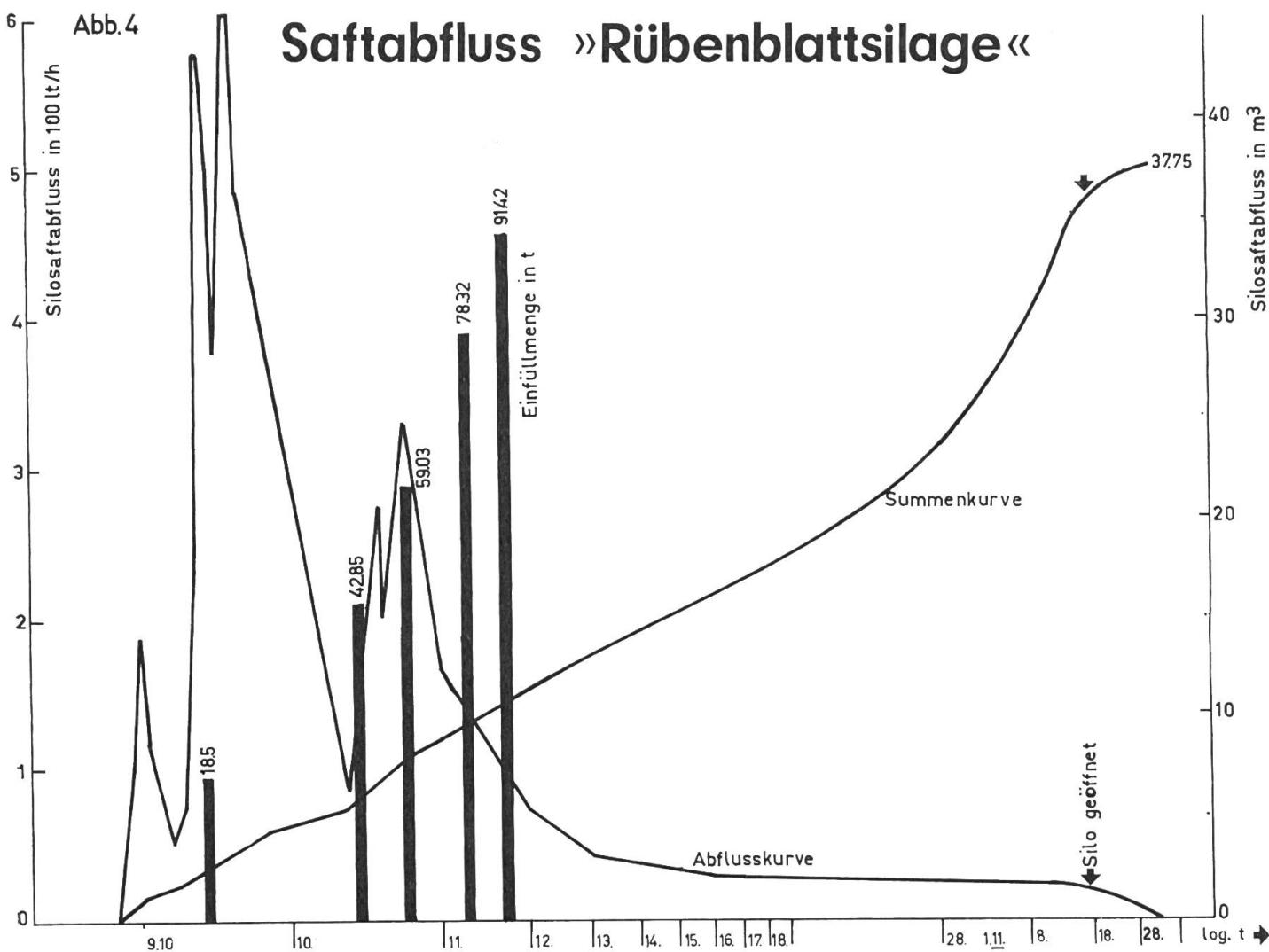
Abb.5

Wanddruck – und Setzkurven

LEGENDE:

- $\text{möglich Bereich für } r_w, \text{ vertikale Wandreibung}(Mp/m)$
- $p_h, \text{ horizontaler Wanddruck}(Mp/m^2)$
- Wasserdruck(m WS)
- Setzkurven(m)





Gärfutter nur noch eine Höhe von 6,25 m. Das Setzen der Silage war nach einer Woche nicht zu 50% vollzogen, verlief also nicht entsprechend dem Saftabfluss (Abb. 3 und 4).

Alle acht Niveauanzeiger zeigten am fünften und sechsten Tag ein «negatives Setzen», also eine Ausdehnung von 10 bis 55 cm an. Dies ist sehr wahrscheinlich eine Ursache mancher Siloeinstürze. Während der ersten drei Tage wurde ein geringfügiges Setzen festgestellt. Am vierten Tag veränderte sich die Anzeige nicht. Erst vom siebten Tag an rutschten die Niveauanzeiger wieder nach unten (Abb. 5).

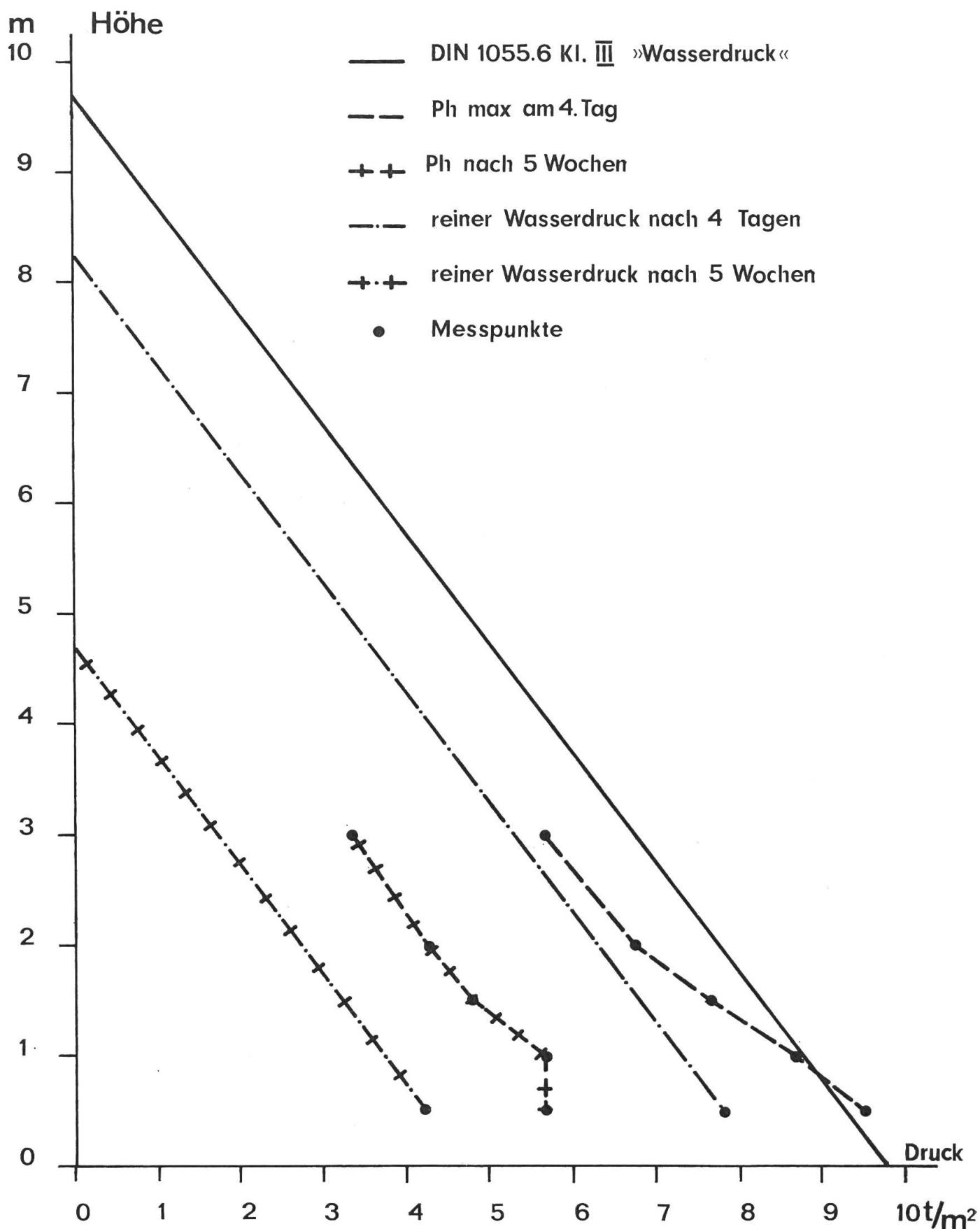
Erstaunlicherweise wird das durch den grossen Saftabfluss verursachte Setzen, welches sich anfangs auch durch die Ausdehnung der Silage abzeichnete, durch Gärung am fünften und sechsten Tag so überlagert, dass sich eine negative Dehnung einstellt.

Ferner ist zu bedenken, dass während der ersten drei Tage gefüllt wurde und die Niveauanzeiger auch die dadurch verursachte Ueberlagerung von Setzen und Gären deutlich kenntlich machen. So weisen die oberen Anzeiger am dritten Tag für die frische Silage noch ein Setzen nach, was bei den unteren nicht der Fall ist.

Entsprechend der Ausdehnung durch Gärung nach dem dritten Tag sind auch die horizontalen Wanddrücke ph am grössten. Abb. 5 gibt die Mittelwerte der Messungen aller drei Mantellinien in Abhängigkeit der Zeit wieder. Abb. 6 zeigt, dass ph während dieser Zeit unterhalb von 1 m Silohöhe den Wasserdruck von 9,7 m WS erreicht. Die später einsetzende Abnahme der Drücke und Reibungskräfte um 30 bis 50% entspricht dem Setzmass.

Die Messungen mit den «Manometern» geben den reinen Wasserdruck an. Sie sind überraschend hoch

Abb. 6 HORIZONTALER GÄRFUTTERDRUCK (Rübenblatt)



und bestätigen die aus der Manteldehnung gewonnenen Resultate.

Die beiden Kurven für die gesamte Wandreibung über den Messstellen (rw) grenzen lediglich den Bereich dieser Kraft ein, da Ev zwischen $Ev = 0,75$ Eh und $Ev = 0,25$ Eh liegen wird. Überraschenderweise geben die ursprünglichen 15 Kurven aller Horizonte am zweiten Tag grosse Wandreibungskräfte und vom dritten Tage an abhebende Kräfte von gleicher Grösse an, die erst nach drei Wochen langsam verschwinden. Auch das wird auf den am dritten Tag beginnenden Gärprozess zurückzuführen sein.

4. Schluss

Wir stellen fest, dass die Wanddrücke sich mit der Zeit in bezug auf Grösse und Richtung erheblich verändern können und damit Aussagen über genaue Lastzunahmen nicht einfach sind. An unserem Beispiel konnten wir sehen, wie der **Gärprozess**, der **Saftabfluss** und das **Absetzen der Silage** von sehr grossem Einfluss sind. Deshalb werden sich bei anderen Gärfutterarten, Trockensubstanzgehalten, Reifegraden und Fülltechniken wieder ganz andere zeitabhängige Kräfte ergeben. Selbst wenn ein Silo einer Wasserfüllung standhält, ist das noch keine Garantie dafür, dass er auch die extremen Belastungen von sehr schwerer Silage (zum Beispiel Rübenblatt) schadlos übersteht.

Unsere Messtechnik (Dehnungsmessungen an GFK-Silos) hat sich trotz grossem Mess- und Rechenaufwand bisher bewährt. Mit der Zeit werden wir das Problem Lastannahmen für Gärfutterdrücke in Hochsilos immer besser erfassen können, wobei die physikalisch-biologischen Vorgänge noch näher untersucht werden müssen.

Allfällige Anfragen über das oben behandelte Thema, sowie auch über andere landtechnische Probleme, sind nicht an die FAT bzw. deren Mitarbeiter, sondern an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten.

ZH	Schwarzer Otto, 052 / 25 31 21, 8408 Wülflingen
ZH	Schmid Viktor, 01 / 77 02 48, 8620 Wetzikon
BE	Mumenthaler Rudolf, 033 / 57 11 16, 3752 Wimmis
BE	Schenker Walter, 031 / 57 31 41, 3052 Zollikofen
BE	Herrenschwand Willy, 032 / 83 12 35, 3232 Ins
LU	Rüttimann Xaver, 045 / 6 18 33, 6130 Willisau
LU	Widmer Norbert, 041 / 88 20 22, 6276 Hohenrain
UR	Zurfluh Hans, 044 / 2 15 36, 6468 Attinghausen
SZ	Fuchs Albin, 055 / 5 55 58, 8808 Pfäffikon
OW	Gander Gottlieb, 041 / 96 14 40, 6055 Alpnach
NW	Lussi Josef, 041 / 61 14 26, 6370 Oberdorf
GL	Jenny Jost, 058 / 61 13 59, 8750 Glarus
ZG	Müller Alfons, landw. Schule Schluechthof, 042 / 36 46 46, 6330 Cham
FR	Lippuner André, 037 / 9 14 68, 1725 Grangeneuve
SO	
BL	Wüthrich Samuel, 061 / 96 15 29, 4418 Reigoldswil
SH	Seiler Bernhard, 053 / 2 33 21, 8212 Neuhausen
AI/AR	Moesch Oskar, 071 / 33 25 85, 9053 Teufen
SG	Eggenberger Johannes, 071 / 44 29 38, 9425 Thal
SG	Haltiner Ulrich, 071 / 44 17 81, 9424 Rheineck
SG	Pfister Th., 071 / 83 16 70, 9230 Flawil
GR	Stoffel Werner, 081 / 81 17 39, 7430 Thusis
AG	Müri Paul, landw. Schule Liebegg, 064 / 45 15 53, 5722 Gränichen
TG	Monhart Viktor, 072 / 6 17 35, 8268 Arenenberg.
Schweiz. Zentralstelle SVBL Küsnacht, Maschinenberatung, Telefon 01 - 90 56 81, 8703 Erlenbach.	

Nachdruck der ungekürzten Beiträge unter Quellenangabe gestattet.

FAT-Mitteilungen können als Separatdrucke in deutscher Sprache unter dem Titel «Blätter für Landtechnik» und in französischer Sprache unter dem Titel «Documentation de la technique agricole» im Abonnement bei der FAT bestellt werden. Jahresabonnement Fr. 24.–, Einzahlungen an die Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, 8355 Tänikon, Postcheck 30 - 520. In beschränkter Anzahl können auch Vervielfältigungen in italienischer Sprache abgegeben werden.
