

**Zeitschrift:** Schweizer Landtechnik  
**Herausgeber:** Schweizerischer Verband für Landtechnik  
**Band:** 36 (1974)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Gefahren und Ursachen von Siloeinstürzen  
**Autor:** Göbel, W. / Schmidlin, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1070344>

### **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:** 13.07.2025

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

# Gefahren und Ursachen von Siloeinstürzen

W. Göbel und A. Schmidlin

## 1. Einleitung

Der Landwirt, der Silofabrikant und der landwirtschaftliche Berater sind an dem, was es über Hochsilos zu berichten gibt, interessiert, da solche für die Futterlagerung weiterhin zunehmend gebraucht werden. Es kommt hin und wieder vor, dass Hochsilos einstürzen, und dadurch dem Besitzer wirtschaftlicher Schaden erwächst. Im Folgenden wird auf die Ursachen von Siloeinstürzen aufmerksam gemacht und auf Gefahren hingewiesen, die dem Silo während seiner etwa 20 Füllungen entsprechenden Lebensdauer erwachsen können. Dabei möchten wir auf Beobachtungen aus der Praxis (Fehler, die beim Erstellen, beim Befüllen und beim Entleeren gemacht wurden) hinweisen und ausserdem über eigene Mes-

sungen berichten. Die Abbildung 1 gibt durch das Unterstrichene an, was in den einzelnen Altersphasen eines Silos zu Siloeinstürzen führen kann. Darüber hinaus stellt diese Abbildung auch eine stichwortartige Zusammenfassung des Berichtes dar.

## 2. Gefahren

### Bauen

In der Phase «Bauen» sind in der Spalte «Gefahren» die Worte Sorgfalt, Lastannahmen und Luken unterstrichen. Da jedes Jahr etwa 3000 Silos in der Schweiz neu errichtet werden, sollte unsere Aufmerksamkeit vor allem auf «Bauen» gerichtet sein. Wenn ein Silo vom Landwirt selber aufgestellt wird (wie es

| Abb. 1 UEBERBLICK UEBER EINSTURZGEFAHREN |           |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phasen                                   | Gefahren  | Beobachtungen                                                                                                                                                                                                                                                  | Messungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                          | Bauen     | an Silos aus:<br>Holz, Stahl, GFK<br>- lotrecht aufstellen,<br>- Spannschlösser<br>- wegen Membranspannungen sind genaue Lastannahmen nötig,<br>- Luken sind die schwächsten Stellen.                                                                          | an GFK - Silos<br>(Wandung und Lukenränder)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                          | Füllen    | Silagearten:<br>- Gras, Mais, <u>Rübenblatt</u><br>Behandlung:<br>- anwelken, häckseln<br>- Gebläse, Förderband<br>- an mehreren Tagen,<br><u>an einem Tag</u> gefüllt<br>- <u>gleichmässig, ungleichmässig</u> verteilt<br>- Saftabfluss gut, <u>schlecht</u> | mit Rübenblatt<br>- Die Silagedrucke sind sehr <u>zeitabhängig</u> und unterscheiden sich je nach TS, Silageart, Häcksellänge, Vorwelligkeit, Einfülltechnik und -dauer, Siloform, Saftabfluss, Gärverlauf, Setzverhalten. Sie können in ungünstigen Fällen den <u>Wasserdruck übersteigen</u> , in günstigen Fällen aber nur 1/10 betragen. |
|                                          | Warten    | anstreichen, spannen                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                          | Entnehmen | von Hand, Fräsen<br>oben, <u>unten</u><br>- durch einseitige Untenentnahme sind Silos zerstört worden.                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                          | Abbrechen | Unfall !                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

bei Holzsilos üblich ist), so ist grosse Sorgfalt auf genau senkrechte Montage und vorschriftsmässiges Anziehen der Spannschlösser zu verwenden. Verbo-gene oder verzogene Planken sind nicht mehr zu ge-brauchen. Wenn mehrere Ursachen zusammentref-fen, kommt es zu einem Einsturz.

Bei der Herstellung dünnwandiger Silos [Stahl oder glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)] sollten die Silagedrücke genau berücksichtigt werden können. Derartiges Baumaterial muss wirtschaftlich verwendet werden. Da ein GFK-Silo die Silage gleich umhüllt wie eine Seifenblase die eingeschlossene Luft, also äusserst dünnwandig und verletzbar ist – man spricht daher von einem Membranspannungszustand – sollte der Fabrikant den durch die Silage ent-stehenden tatsächlichen Druck in seine Berechnung einsetzen können. Um jede Ueberbeanspruchung der Membrane (Wandung) zu vermeiden, sind z. B. die Luken äusserst sorgfältig auszubilden.

Zur Erläuterung gibt Abbildung 2 im ersten Kasten einen Ueberblick über das Vorgehen bei einer fach-lich einwandfreien Berechnung. Die Lastannahmen setzen sich aus drei Sparten zusammen (zweiter Ka-sten). Von allen möglichen Füllgütern (dritter Ka-sten), die für Silos in Frage kommen, waren nur die Drücke von Wasser von jeher bekannt, wogegen die-jenigen von körnigem Gut (Weizen, Kies oder Sand) und staubförmigem Gut (Mehl oder Zement) erst in letzter Zeit genauer erforscht wurden. Die durch Silage ausgeübten Drücke hingegen wurden bis heute lediglich geschätzt, weil ihre genaue Erfas-sung zu schwierig war (Kasten 3). Die Skizze über den Wasserdruck (unten links) zeigt an, dass der horizontale Wanddruck (ph) mit zunehmendem Was-serstand im Silo linear zunimmt. Bei 10 m Wasser-stand erhalten wir beispielsweise am Silofuss 10  $\text{Mp/m}^2$  horizontalen Wanddruck. Die Skizze unten rechts gilt für Silage. Ausser dem horizontalen Wand-

Abb. 2 SILOBERECHNUNG: DRUECKE

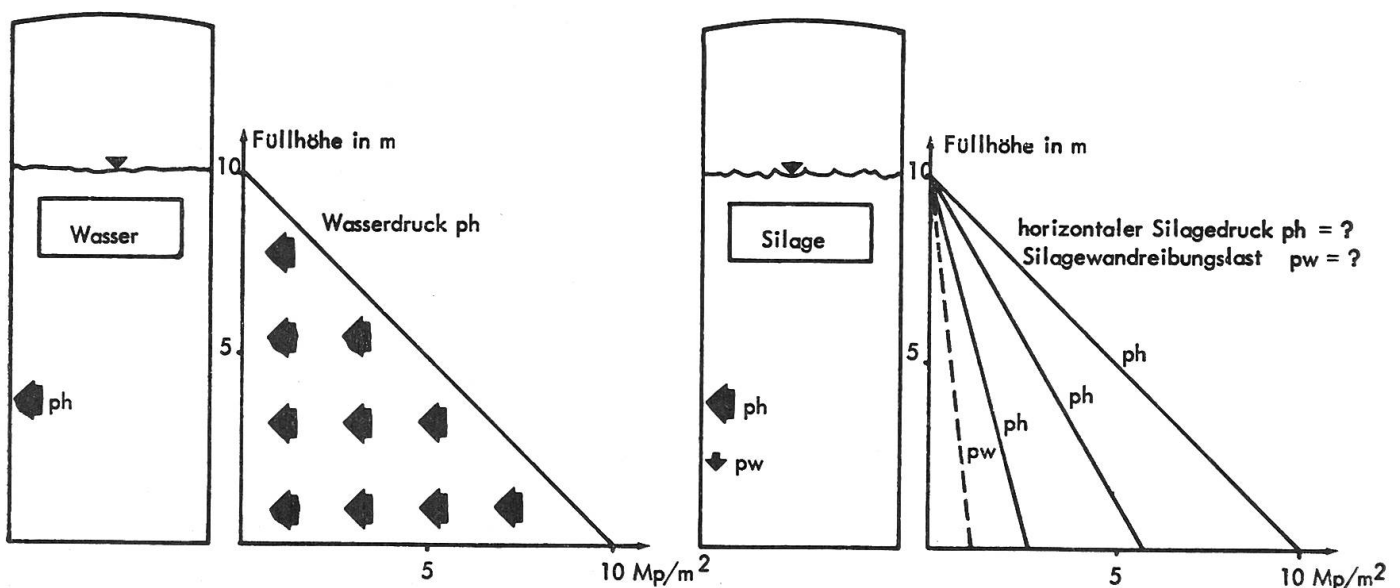
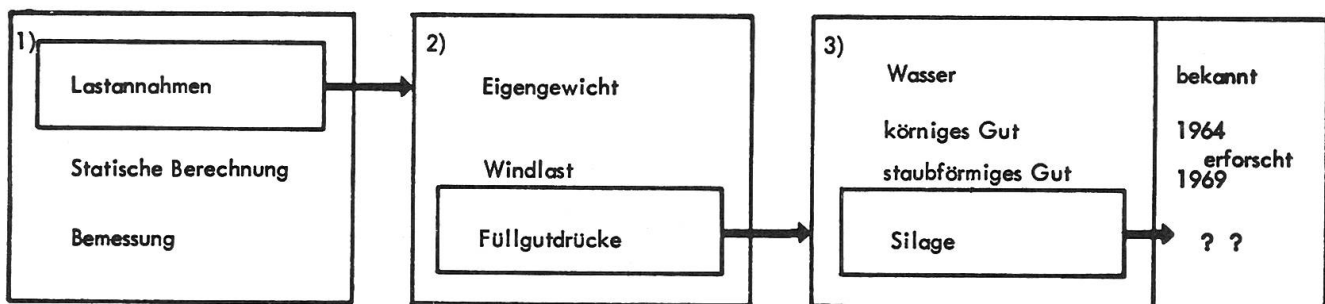
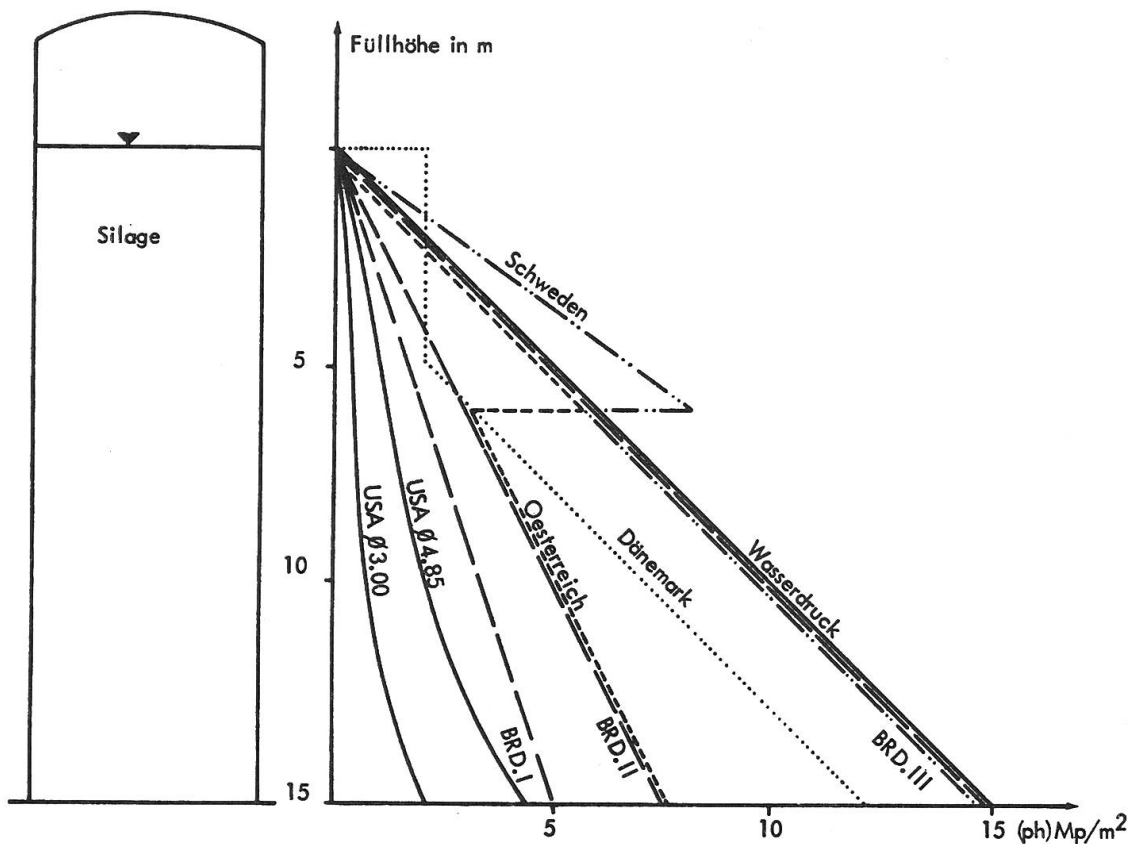


Abb. 3 GAERFUTTERDRUCKANNAHMEN EINZELNER LAENDER



druck (ph) wie bei Wasser muss hier noch eine vertikale Wandreibungslast (pw) mitberücksichtigt werden. Beispielsweise zieht die sich setzende Silage die Silowand infolge Wandreibung nach unten. Ueber die Zunahme oder Grösse beider Lasten (ph und pw) in Abhängigkeit von der Füllhöhe der Silage ist nichts Genaues bekannt. Daher unterscheiden sich, wie in Abbildung 3 dargestellt, die Gärfutterlastannahmen in den Vorschriften einzelner Länder sehr erheblich. Einige Länder schlagen linearen andere progressiven Kurvenverlauf vor. Die deutsche Vorschrift (DIN 1055, Blatt 6) bietet den Vorteil, dass die Silage entsprechend ihrem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) drei verschiedenen Druckklassen zugeteilt werden kann.

#### Füllung

Von allen Silagearten verursacht Rübenblatt die meisten Einstürze. Da auch hier eine einzige Ursache

nicht ausschlaggebend ist, sollte man versuchen, alle weiteren Ursachen auszuschalten. So dürfen Rübenblattsilos nicht an einem einzigen Tage gefüllt werden, weil in einem solchen Fall sehr grosse Gärdrücke entstehen können. Auch sollte jedes Siliergut gleichmässig über den Siloquerschnitt verteilt werden. Der Saftabfluss darf nie verstopft sein, und bei Rübenblatt ist eine Mitteldrainage angezeigt.

#### Entnahme

Zum Zeitpunkt der Entnahme sind die Drücke aller Silagearten geringer als während den ersten vier Wochen nach Füllbeginn, da der Siloinhalt infolge Saftverlust und Setzen kleiner wird und auch nicht mehr so hoch ansteht. Wenn der Silo sehr hoch ist, entstehen bei Untenentnahme zusätzliche Gefahren, weil das Silagegut dann dazu neigt Brücken zu bilden, die plötzlich einstürzen können. Ganz besonders gefährlich ist eine einseitige Entnahme des Silagegutes durch die Fräse.

### 3. Beobachtungen

Unsere Beobachtungen an mit verschiedenen Silagen gefüllten Silos verschiedener Bauart bestätigten die oben genannten Gefahren.

Abbildung 4 zeigt einen eingestürzten Rübenblatt-silo. Bei dessen Aufstellen stellte man fest, dass die Wandbohlen stark verzogen waren, und deshalb vermochten die Monteure den Silo trotz mehrmaligem Richten nicht in eine lotrechte Stellung zu bringen. Der Silo hielt zwar der ersten Füllung mit Mais-silage stand. 1971 wurde der Silo an drei Tagen derselben Woche mit Rübenblatt gefüllt. Da die Holz-wandung während des Sommers ausgetrocknet war, mussten die **Spannschlösser nachgezogen werden**. Zwei Tage nach dem Füllen wurden die vier untersten Spannschlösser plötzlich gesprengt und flogen 12 m weit fort. Dann neigte sich der Silo und der Siloinhalt trennte sich in drei Zylinder, die den Tag-gefüllungen entsprachen.

Neben dem Umstand, dass der Silo schief stand und die Spannschlösser während des Füllens nicht ge-lockert wurden, kommt als Einsturzursache hinzu, dass der Bodenablauf verstopft war und der Saftstau den Gärfutterdruck verstärkte und das Quellen des Holzes förderte.

Abbildung 5 stellt einen 850 m<sup>3</sup> Stahlsilo dar. Nach einmaligem Füllen mit Körnermaissilage wies er in seiner unteren Hälfte drei grössere Einbeulungen auf. Er wurde durch Profilträger vorübergehend ab-gestützt und nach dem Entleeren durch Auswechseln der verbeulten Stahlplatten wieder vollständig re-pariert. Die Entnahmefräse hatte den Silo nur ein-seitig entleert und es bildete sich ein Hohlraumkeil, der ein ruckweises Nachrutschen des oberen Silage-keiles ausgelöst haben muss. Durch das Nachrut-schen des Druckkeiles verursachte dynamische Wand-reibungslasten werden die Wandung im Hohlraum-keilbereich eingebeult haben, weil die dünne Silo-wand durch keinen inneren Silagedruck gestützt war.

Abb. 4

EINGESTUERZTER RUEBENBLATTSILO

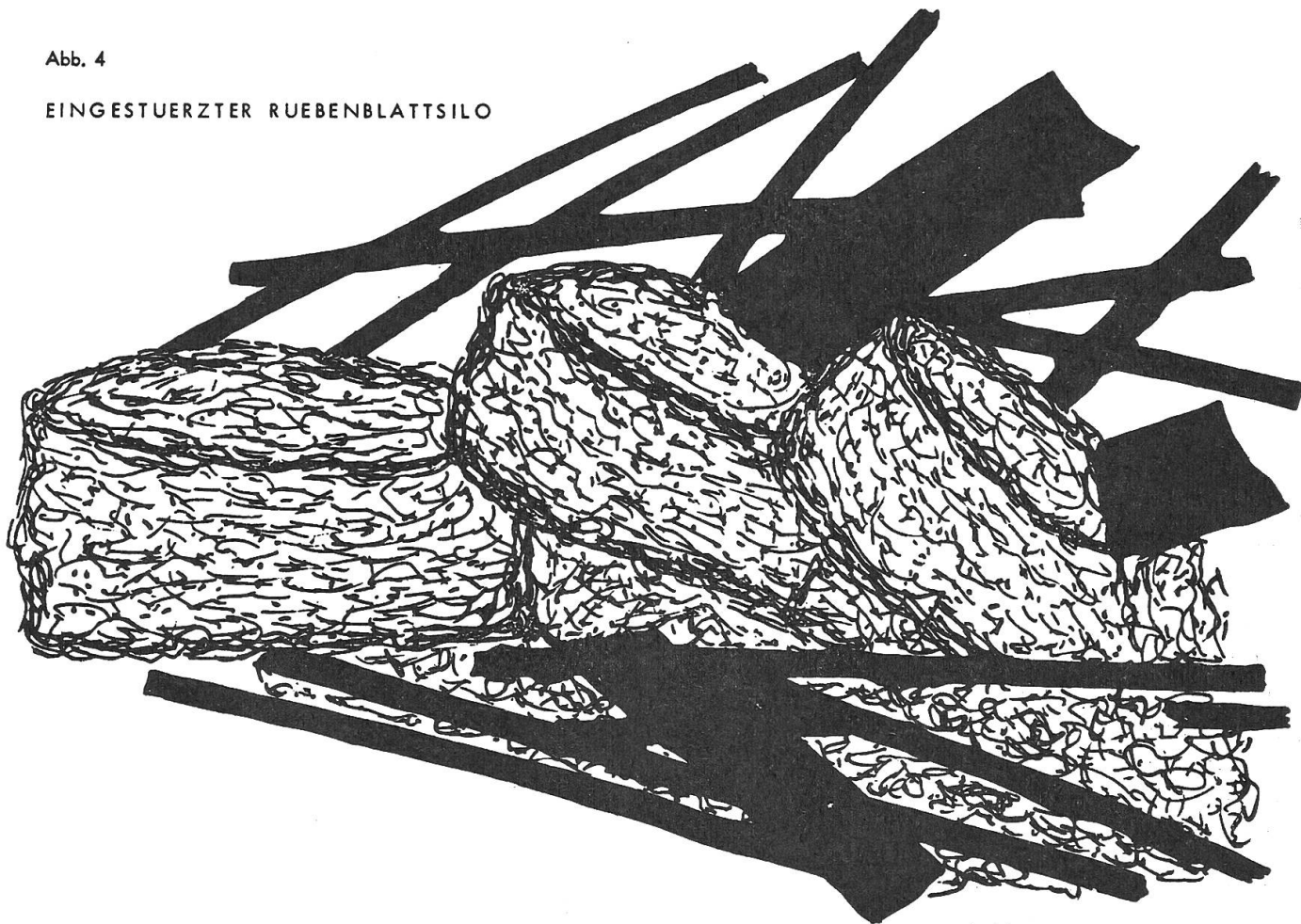
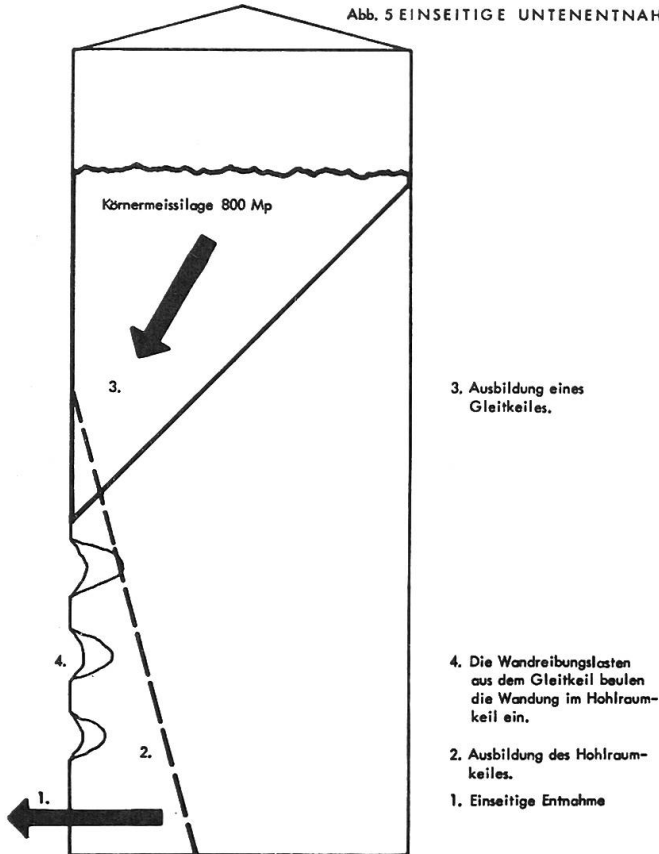
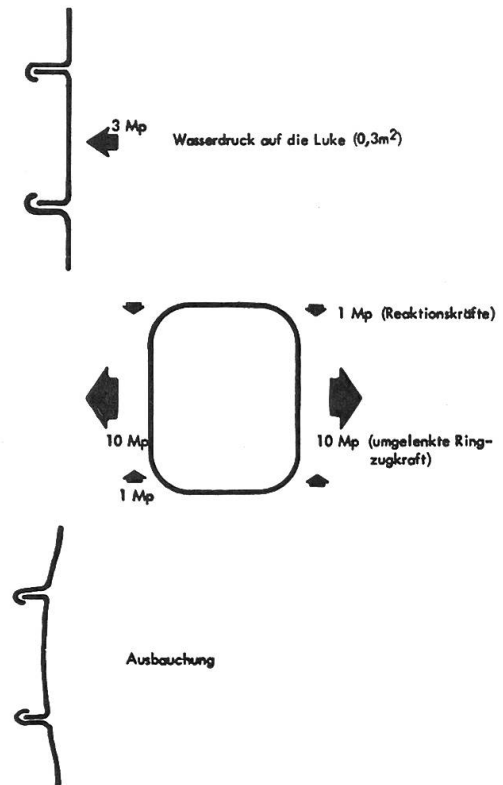


Abb. 5 EINSEITIGE UNTENENTNAHME

Abb. 6 KRAEFTEVERLAUF UM DEN LUKENAUS-SCHNITT BEI WASSERDRUCK ( $10 \text{ Mp/m}^2$ )

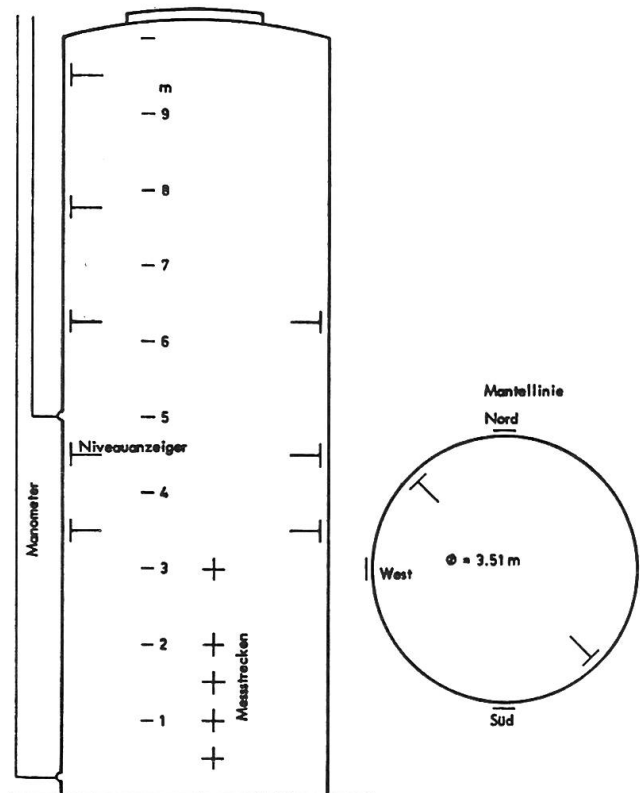
#### 4. Messungen

Da die Luken besonders bei dünnwandigen Silos die schwächsten Glieder sind, führen wir in Tänikon Dehnungsmessungen rings um die Luken der GFK-Silos durch. Abbildung 6 zeigt, dass es sich bei Lukenverformungen um beträchtliche Kräfte handeln kann. Der anliegende Silomantel wird durch Biegespannungen und verstärkt auftretende Membranspannungen beansprucht. Die hohe Beanspruchung des Materials sollte durch zweckmässige Lukerahmen-Konstruktion reduziert werden. Die Ueberlegungen zeigen, wie gefährlich es wäre, Silolukerahmen z. B. mit dem Ladewagen zu beschädigen.

An dem in Abbildung 7 dargestellten und mit Rübenblatt gefüllten Silo haben wir umfangreiche Messungen zur Ermittlung von Gärfutterdrücken durchgeführt. Dazu war es nötig, mit einem Dehnweggeber an verschiedenen Stellen des Silos die Wanddehnungsunterschiede zu messen, und zwar:

- im Leerzustand zur Ermittlung des Temperaturausdehnungskoeffizienten,

Abb. 7 MESSSTELLEN



- bei **Wasserfüllung** zur Ermittlung der Materialeigenschaften,
- bei **Füllung mit Gärfutter** zur Bestimmung der Gärfutterdrücke.

Die zuletzt genannten Messungen wurden mehrere Wochen lang täglich durchgeführt. Die Dehnungsmessungen wurden ergänzt durch Saftabflussmessungen und Setzmassbestimmungen. Niveauanzeiger wurden innen an der Wandung in die Silage eingelegt. Mit einem Metallsuchgerät konnten die Niveauanzeiger von aussen geortet werden. Des weiteren waren Schlauchmanometer zur Bestimmung des reinen Saftdruckes angebracht.

- Eine erste Ueberraschung bestand darin, dass trotz eines grossen Saftabflusses von 18 m<sup>3</sup> (oder 50% des gesamten Abflusses) am 5. und 6. Tag nach Füllbeginn die Niveauanzeiger im mit 91 Mp Rübenblattsilage gefüllten Silo infolge einer Ausdehnung der Silage bis zu 50 cm nach oben wanderten (Abb. 8).

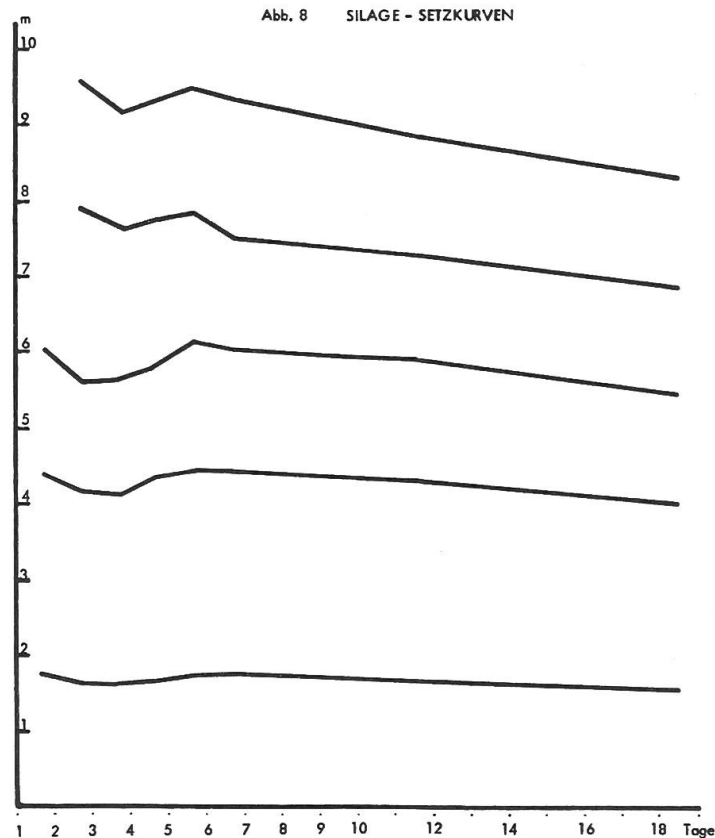


Abb. 9

HORIZONTALER GAERFUTTERDRUCK(RUEBENBLATT)

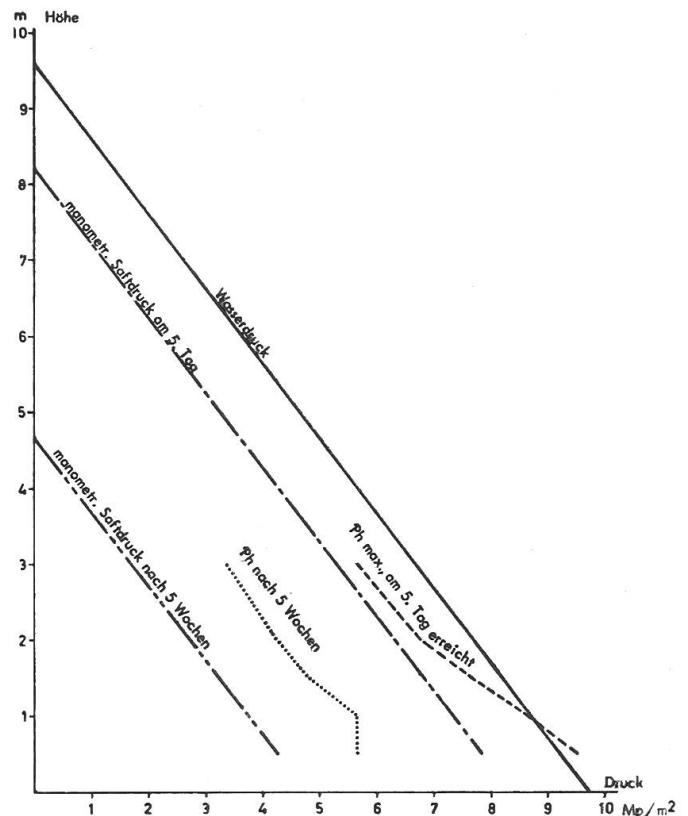
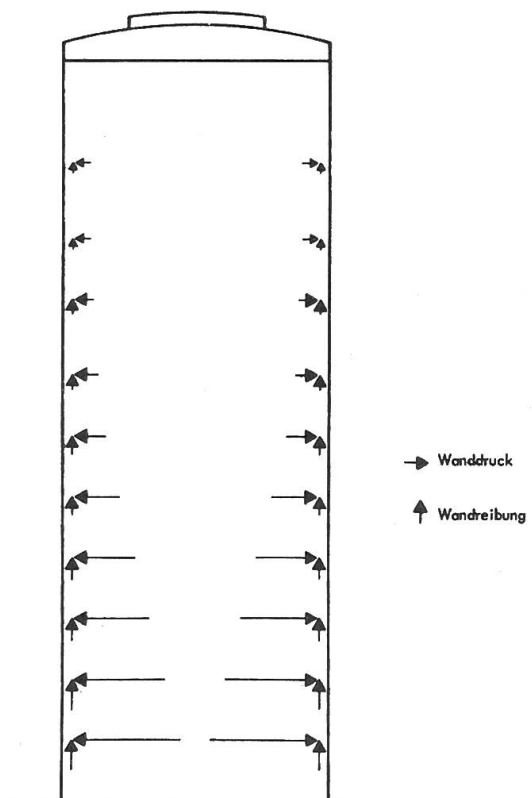


Abb. 10

LASTEN AM 5. UND 6. TAG





- Eine zweite Ueberraschung bereitete die Feststellung, dass zum gleichen Zeitpunkt die horizontalen Wanddrücke im unteren Silobereich den einer gleichen Füllhöhe entsprechenden Wasserdruck übertrafen (Abb. 9). Dieses Ergebnis wird noch dadurch bestätigt, dass dann der reine Saftdruck sehr hoch war.
- Die dritte «Ueberraschung» war der Nachweis einer nach oben statt nach unten gerichteten Wandreibungslast  $p_w$  (Abb. 10). Nachträglich war dies einleuchtend, da sich die Silage ja ausdehnte. – Es ist nun auch nicht verwunderlich, dass Silos am häufigsten durch Rübenblattsilage einstürzen.
- Ein weiteres und bisher in diesem Umfang zum erstenmal festgestelltes Ereignis war der zeitabhängige Verlauf von  $p_h$  und  $p_w$  (wie in Abb. 11

dargestellt).  $p_h$  hat in allen Messhorizonten zu einem bestimmten Zeitpunkt (bei uns nach 5 und 6 Tagen) sein Maximum,  $p_w$  hat in der Regel sein Minimum zuvor, nämlich dann, wenn die Silage nach dem Füllen zunächst am stärksten zusammenrutscht.

## 5. Zusammenfassung

Wir sind uns darüber klar, dass die stark zeitabhängigen Silagedrücke sich je nach TS-Gehalt, Silageart, Häcksellänge, Vorwelkgrad, Erntezeitpunkt, Einfülltechnik und Einfülldauer, Saftabfluss, Gärverlauf, Setzverhalten und Siloform verschieden verhalten können. Weitere Forschungen werden zweifellos noch manche Ueberraschungen bieten.

(Vortrag gehalten anlässlich der 25. Generalversammlung der Vereinigung Thurgauischer Silobauern.)

Abb. 11 KRAEFTEVERLAUF IN ABHAENGIKEIT DER ZEIT

