

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz

Herausgeber: Landtechnik Schweiz

Band: 47 (1985)

Heft: 8

Artikel: Hochsilos im Vergleich

Autor: Schmidlin, A. / Jakob, R. / Göbel, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1081575>

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: 03.02.2026

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

Hochsilos im Vergleich

A. Schmidlin, R. Jakob und W. Göbel

Eidg. Forschungsanstalt Tänikon TG (FAT)

Nach der landwirtschaftlichen Betriebszählung 1980 verfügt die Schweiz über 4'164'000 m³ Siloraum; er hat sich seit 1969 nahezu verdoppelt. Es wird aber nicht bloss mehr, sondern auch wertvolleres Futter eingeschüttet. Einerseits gewinnt durch die vermehrte Herstellung von nährstoff- und trockensubstanzreichen Silagen die Luftdichtigkeit der Silos an Bedeutung. Anderseits werden durch sehr hohe m³-Gewichte höhere Anforderungen an die Statik gestellt. Da bei der Gärung oder durch den Sickersaft leichtverdauliche Kohlenhydrate abgebaut werden oder verlorengehen, sind die Energieverluste 20 bis 30% höher als die TS-Verluste. Die Konservierungsverluste müssen daher weitgehend über das Kraftfutter kompensiert werden. Bei einer Senkung der TS-Verluste im Silo von nur 1% (rund 6 Mio kg TS) könnten die Kraftfutterkosten landesweit um rund 4,3 Mio Franken reduziert werden. Nebst der Luftdichtigkeit und der Statik sind aber weitere Erhebungen oder Abklärungen notwendig, wie Dauerhaftigkeit von Silobaustoffen, Unfallverhütung, Siliertechnik, Siloausnutzung, Konservierungsverluste, Raumgewichte sowie Investitions- und Betriebskosten.

Gärungsablauf und Verluste

Bei der Vergärung von Futterpflanzen werden unvermeidbare

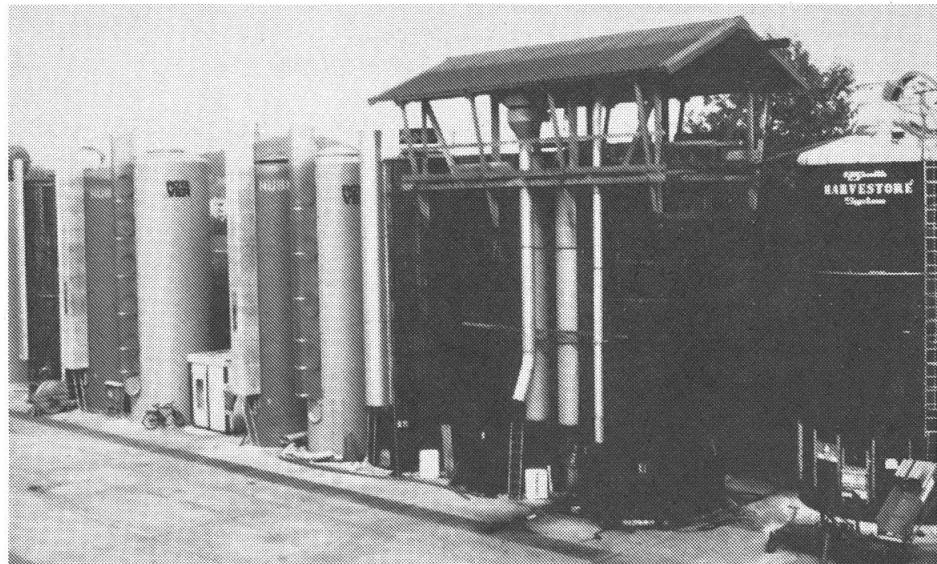


Abb. 1: Prüfanlage für Hochsilos an der FAT. Materialien: Beton, Holz, Kunststoff, Stahl. Silodurchmesser: 2,5 m bis 5,1 m, Volumen 50 m³ bis 180 m³.

und vermeidbare Verluste unterschieden.

Unter absolut optimalen siliertechnischen Bedingungen ist

beim Gärprozess in jedem Fall mit mindestens 5% Energieverlusten zu rechnen.

Da Sickersäfte bei Gras- und

Tabelle 1: Verlustquellen bei Grassilage

Biologischer Prozess	Energieverluste in %	
Restatmung	unvermeidbar	1 – 2
Vergärung	unvermeidbar	4 – 9
Sickersaftbildung	vermeidbar	0 – 11
Sekundärgärung	vermeidbar	0 – > 5
Aerobe Umsetzungen während der Lagerzeit	vermeidbar	0 – > 10
Aerobe Umsetzungen während und nach der Entnahme	vermeidbar	0 – > 10
Total		5 – > 40

Quelle: Zimmer/Honig, FAL Braunschweig.

Restatmung: Diese Verluste sind abhängig vom restlichen Sauerstoff im Futter, der nach dem Einfüllen veratmet wird. Sie hängen stark von der Befülldauer und somit von der Schlagkraft des Ernteverfahrens ab.

Vergärung: Die Gärverluste beruhen auf den unvermeidlichen anaeroben und aeroben Umsetzungen zur stabilisierenden Säurebildung. Sie sind abhängig vom Restsauerstoff, TS-Gehalt und von der Gärfähigkeit des Siliergutes.

Maissilage nur unter 30 bis 35% TS gebildet werden, sind für grössere Verluste in der Regel andere Gründe verantwortlich. Meistens ist in den Futterstock eindringende Luft bzw. Sauerstoff während der Lagerung oder bei der Futterentnahme dafür verantwortlich. Um diesen unerwünschten Sauerstoff vom Futter fernzuhalten, ist ein möglichst dichter Silo unerlässlich.

Die Versuchssilos an der FAT

In den Jahren 1983 und 1984 wurden zehn Versuchssilos aufgestellt. Die Siloanlage präsentiert sich heute gemäss Tab. 2 und Abb. 1. In den Silos wird das Futter für den FAT-Versuchsbetrieb gelagert. Die verschiedenen Futterarten sind Gras, Maishäcksel, CCM, Rüben-

schnitzel und Rübenblatt. Ausser dem Betonsilo wurden alle Silos durch die Lieferanten aufgestellt. Im Selbstbau haben wir den Betonsilo aufgestellt (Abb. 2).

Luftdichtigkeit der Hochsilos

Wo dringt Luft in den Silo ein, bzw. fliesst Luft zusammen mit Gärgasen aus? (Abb. 3)

Tabelle 2: Typentabelle der an der FAT stehenden Silos

Nr.	Silo Lieferant, Adresse	Ø	h	F	V	Wand- stärke	Türchen Stück Innen/ Äussen	Herstell- verfahren	Bodenan- strich ausgeführt durch:	AK-Bedarf Aufstellen	Türchen- verschluss	Deckel- verschluss
		m	m	m ²	m ³	mm						
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Schalungsverleih Betonsilo Heinzle AG, Altstätterstr. 122 9451 Kriessern	4	9,92	12,57	125	130	5 A	SaO	GFK* f Fa	ca. 130 h	4 exzenter + G	14 Schr + G (Tauchrinne)
2	Rota Ver, GFK Silo Rota Ver AG, Kunstoffwerk 3432 Lützelflüh	2,97	6,92	6,93	48	7	4 I	SV	GFK Fa	2 - 3 h	4 Schr + G	4 Schr + G
3	Epple, GFK Silo Agrar AG, 9500 Wil	2,97	10,17	6,93	70	10	5 A	SV	Bitumen Fa	3 - 4 h	6 Schr + G	4 Schr + Roll G
5	Andennatt, Druck Imp Holzsilo V. Andennatt, Silobau 5634 Merenschwand	3,48	9,96	9,51	95	60	9 I	E	Sika 62 s	30 - 40 h	1 Bügel 2 Schr + G	5 Schr + G
6	Huber, GFK Silo W. Huber AG, Agrar Technik 5426 Lengnau	3,46	10,12	9,4	95	10	5 A	WV	Sika 62 s	2 - 3 h	2 Ovalrohre + G	1 Bügel 1 Schr + G
7	Rota Ver, GFK Silo	3,48	10,54	9,51	100	10	6 A	SV	GFK Fa	2 - 3 h	6 Schr + G	4 Schr + G
9	Huber, GFK Silo	2,50	9,98	4,91	49	10	5 A	WV	Polyurethan s	2 - 3 h	2 Ovalrohre + G	1 Bügel 1 Schr + G
10	Rota Ver, GFK Silo	2,47	10,01	4,79	48	9	5 A	SV	GFK Fa	2 - 3 h	6 Schr + G	4 Schr + G
11	Hegner, Druck Imp Holzsilo Hegner AG, Silobau 8854 Galgenen	3,96	9,91	12,32	122	60	10 I	E	Sika 67 s	30 - 40 h	4 Schr + G	5 Schr + G
14	Harvestore, Stahlsilo Rich. Rihs + Co AG, Element- bau, 2553 Safnern/Biel	5,11	8,75	20,55	179	3	1	E	Stahl Fa	120-160 h	20 Schr + Kitt	6 Exzenter + G

Kolonne 8:

SaO = Selbstbau an Ort

SV = Schleuderverfahren

E = Elemente, die in der Werkstatt vorbereitet sind, werden auf der Baustelle zusammengefügt.

WV: Winkelverfahren.

Auf Platz Nr. 4 und 8 steht noch kein Silo.

Silo Nr. 12 und 13 sind nicht im Versuch, werden aber für den FAT-Versuchsbetrieb als Reserve benötigt.

Kolonne 9:

GFK = Glasfaserverstärkter Kunststoff
(Polyester)

* = Nicht nur Boden, sondern ganzer Silo

f FA = Durch fremde Firma ausgeführt

FA = Durch Lieferfirma ausgeführt

s = Durch die FAT selbst ausgeführt.

Schr = Schrauben

G = Gummidichtung.

Kolonnen 11+12:

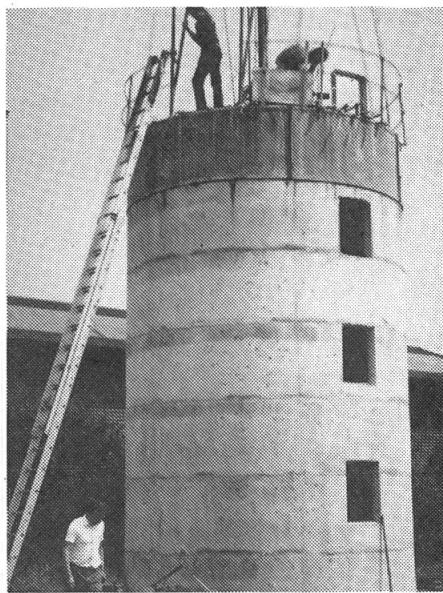


Abb. 2: Beim Betonieren des siebten Meters des FAT-Betonsilos. Drei Arbeitskräfte, wovon zwei auf dem Silo (schwindelfrei).

Das **Ventil** sollte das Futter im Silo vor Luftzutritt schützen. Der Luftdruck im Silo ändert sich in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Barometerstand. Die Temperaturschwankungen in Silos im Freien sind bei Sonnen-

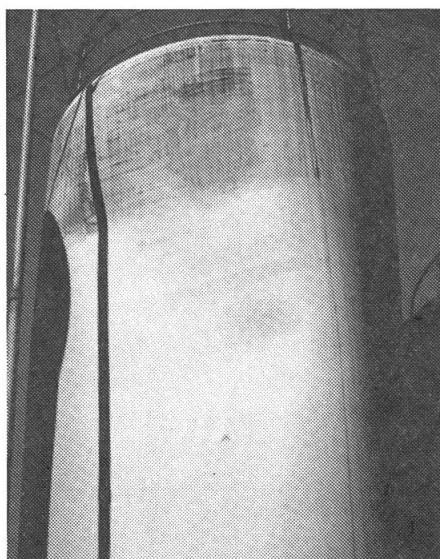


Abb. 4: Bereits bei ungefähr 10 mbar Unterdruck (bei verschlossenem Ventil) werden die dünnwandigen Kunststoffsilos eingedrückt. Dies entspricht einer Temperaturdifferenz (Innentemperatur Silo zu Aussentemperatur) von 3°C.

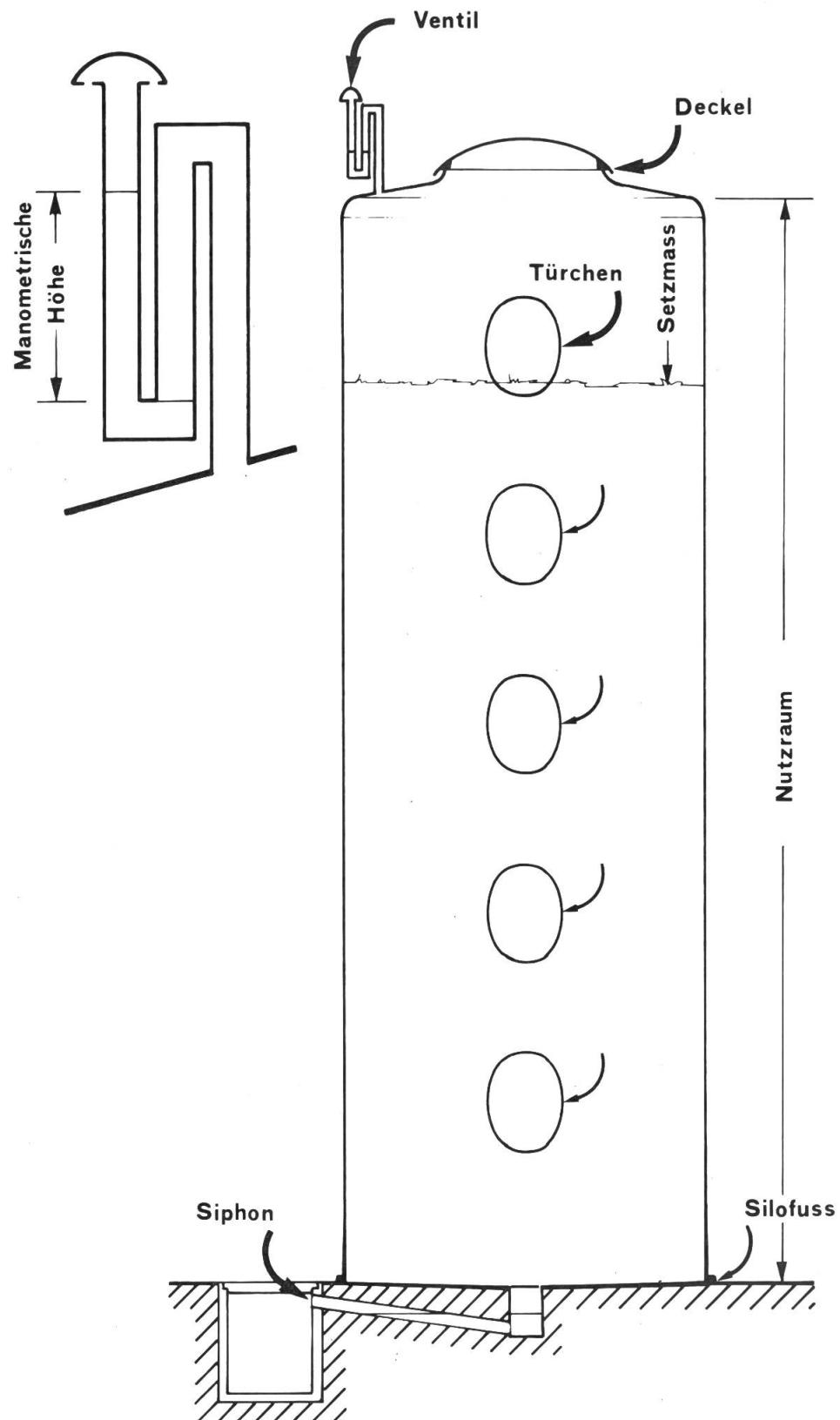


Abb. 3: Die wichtigsten Undichtigkeitsstellen an Gärfuttersilos.

einstrahlung wegen der Kollektowirkung besonders bei dünnwandigen Baustoffen grösser als die täglichen Temperaturunterschiede des Außenklimas.

Da bei plötzlich starker Abkühlung im Silo ein Vakuum entsteht, müssen diese Silos mit einem Ventil versehen sein (Abb. 4).

Abb. 5a und 5b: Der Temperaturverlauf an einem sonnigen und einem bedeckten Herbsttag in einem Holzsilo. Die Extremwerte Minimum und Maximum sind markiert.

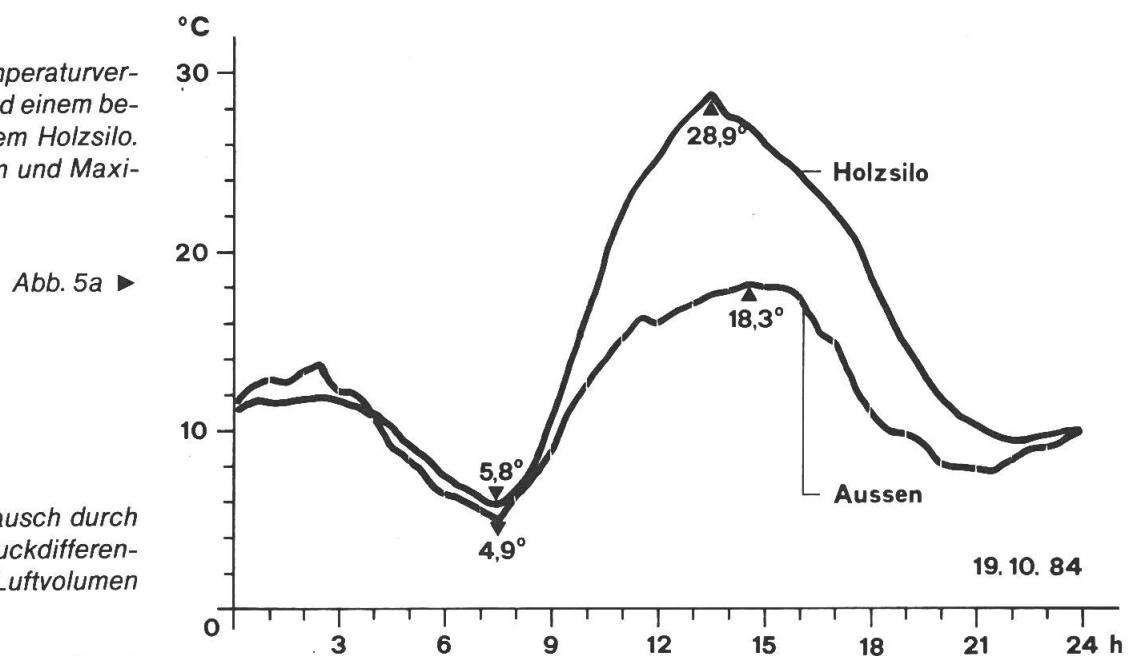
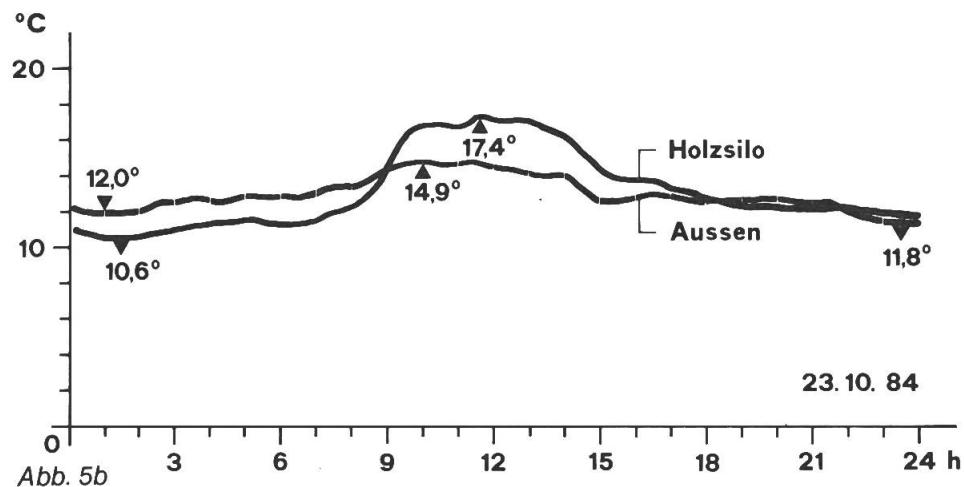


Abb. 6a und 6b: Luftaustausch durch Temperatur- oder Lufrückdruckdifferenzen in Abhängigkeit vom Luftvolumen in einem luftdichten Silo.

Beispiel Abb. 6a: 10,6 m³ Luftvolumen um 23°C erwärmt bedingt einen Luftaustausch von 830 l.

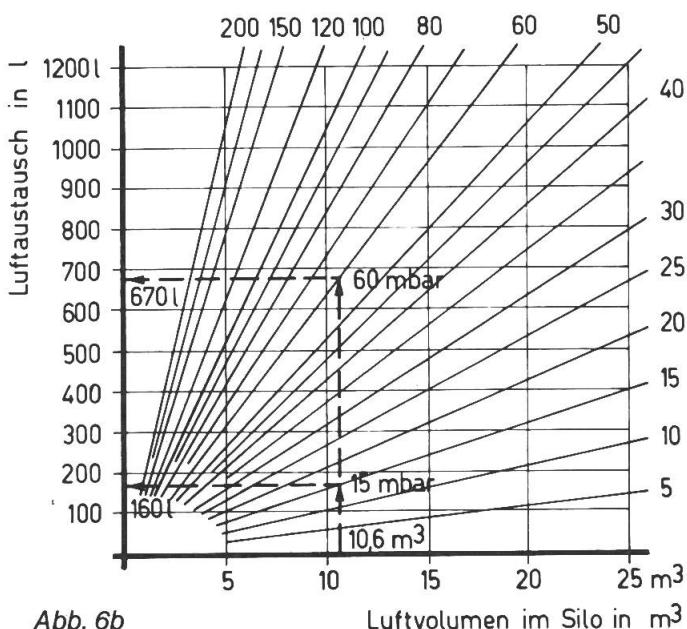
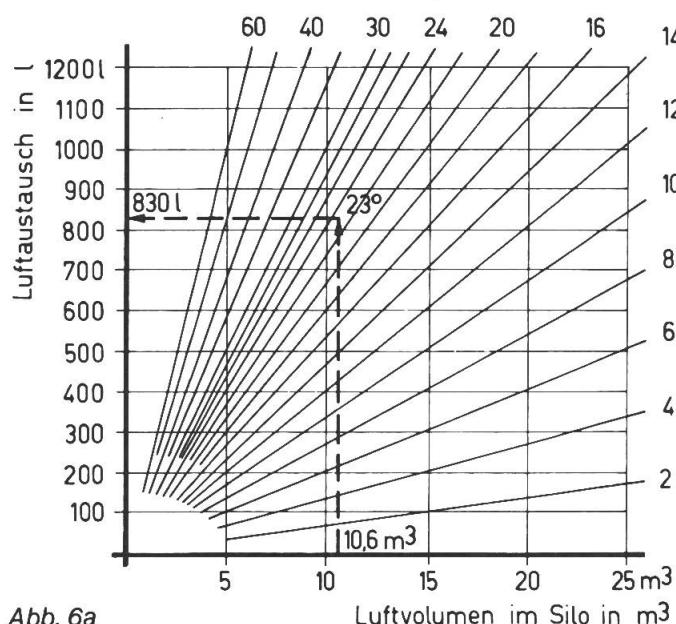
Beispiel Abb. 6b: 10,6 m³ Luftvolumen um 23°C erwärmt ergibt einen Druckaufbau von $23 \times 3,242 = 75$ mbar. Mit 3 cm Glyzerin im Ventil $\times 2$ (bis Luft durchströmt) = 6 cm $\times 2$ (morgens Vakuum und abends Überdruck) = 12 cm $\times 1,25$ (spez. Gewicht des Glyzerins) = 15 mbar verbleibende Druckdifferenz können 160 l Luft zurückgehalten werden.

75–15 mbar = 60 mbar entspricht einem Luftaustausch von 670 l.



Temperaturveränderung von 1°C bewirkt Lufrückdruckänderung von +- 3,242 mbar (Standort FAT 20°C, 950 mbar)

Temperaturdifferenz in °C



Ein Abfluss mit **Siphon** ist bei jedem Silo vorgeschrieben, damit allfälliger Sickersaft in die Güllegrube fließt. Ausnahmen bilden Silos mit Untenentnahme, die nicht mit nassen Futterarten gefüllt werden dürfen (z.B. Harvestore) oder Silos, in denen das Futter flüssig konserviert wird (zum Beispiel Ligavator). Bei sehr intensiver Gärung kann es vorkommen, dass die Flüssigkeit im Siphon durch die Gase nach aussen weggedrückt wird. Bei leerem Siphon kann später der Sauerstoff ungehindert von aussen in den Silo eindringen. Um dies zu vermeiden, sollte der Siphon mindestens 30 cm manometrische Höhe aufweisen.

Der **Deckel** ist in der Regel nicht sehr dicht und somit die Hauptursache für den Gasaustausch im oberen Bereich des Silos auch bei kleineren Temperaturunterschieden, wenn das Ventil nicht in Funktion tritt.

Auch die **Luken** sind mehr oder weniger undicht, und bei intensivem Gasaustausch kann das den Beginn der unangenehmen Nachgärungen herbeiführen. Besonders wenn die Luken nur halb mit Futter überdeckt sind, kann das konservierend wirkende CO_2 relativ gut abfließen, was zu besonders hohen Oberflächenverlusten führt.

Praktisches Beispiel

Druckimprägrierter Holzsilo: $\varnothing = 3,48 \text{ m}$, $h = 9,96 \text{ m}$, $V = 94,7 \text{ m}^3$, ganz gefüllt mit Maishäcksel, dreimal nachgefüllt, TS = 30,5%, m^3 -Gewicht beim Einfüllen = 210 kg TS, keine Silierhilfsmittel, keine zusätzliche Abdeckung, Lagerdauer fünf Monate. Entnahme mit Obenentnahmefräse, 19,3 cm je Tag.

Ermittelte Daten:

Setzmasse: 1,11 m
Luftraum im Silo: $10,6 \text{ m}^3$
Tagestemperaturdifferenz: $23^\circ\text{C} = (23 \times 3,242) = 75 \text{ mbar}$
(Umrechnungsfaktor 950 mbar: $2930 \text{ K} = 3,242$)
Manometrische Höhe Ventil: $7,5 \text{ mbar} \times 2 = 15 \text{ mbar}$ (Ventilwiderstand)
Differenz: **60 mbar**

Sofern der Silo absolut dicht ist, müssen 670 l Luft ($60 \text{ mbar} \times 10,6 \text{ m}^3 \times 1,05$) in einem Tag ausgetauscht werden. Kleine Undichtheiten erhöhen den Austausch bis maximal 830 l je Tag ($75 \text{ mbar} \times 10,6 \text{ m}^3 \times 1,05$). Offen ist noch, wie weit sich die einströmende Luft mit dem Gär-gas CO_2 vermischt. Wenn die Temperaturdifferenzen mehr als 23°C betragen, ist der Luftaustausch dementsprechend grösser (Abb. 5 und 6).

Verlustbilanz:

Totalverluste	7,5% TS
Oberflächenverluste (total verdorben)	0,6% TS
Sickersaftverluste	–
Gär- und andere Verluste	6,9% TS

Anhand der Literatur können wir annehmen, dass bei 6,9% TS-Verlusten die Energieverluste zirka 10% betragen. Die unvermeidbaren Verluste – verursacht durch Restatmung und Gärung – erreichen mindestens 5% (Tab.1). Da die Futterproben absolut ein-

Silos immer schnell und ganz füllen, gut verteilen und stampfen und wenn möglich am nächsten Tag nachfüllen. Bei nicht ganz gefüllten Silos sollte das Futter abgedeckt und beschwert werden, am besten mit einer Wasserpresse.

Offene Fragen:

- Die Temperaturverläufe in den durch Sonneneinstrahlung erwärmten Silos bei verschiedenen Silobaustoffen und Farben.
- Die Gasschichtung (CO_2) in Gärfuttersilos wird durch die täglich ein- und ausströmende Luft durchmischt.
- Gasproduktion und Gasaustausch in einem luftdichten Silo, der mit Atmungssäcken ausgerüstet ist.
- Die Raumgewichte der verschiedenen Futterarten sind sehr unterschiedlich, so dass die sogenannten schweren Silagen wie CCM, Rübenblatt und Schnitzel an die Silostatik wesentlich grössere Anforderungen stellen.

wandfrei waren und keine Nachgärungen auftraten, können wir annehmen, dass zirka 5% Energieverluste durch einströmenden Sauerstoff während der Lagerung verursacht wurden.

Silodichtigkeitsprüfung und Ergebnisse

1983 und 1984 wurden an der FAT die verschiedenen Silos von 50 bis 180 m^3 Grösse auf ihre Dichtigkeit hin untersucht. Um Druckunterschiede zwischen innen und aussen zu erhalten, wurden die Silos nach sorgfältigem Verschliessen an einen Kompressor bzw. an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Aus dem Kurvenverlauf über den Abbau des Druckunterschiedes nach dem Abstellen des Gerätes liessen sich die Luftverluste durch Lecks berechnen.

Wie erwartet, hing die Dichtigkeit des Silos teilweise vom

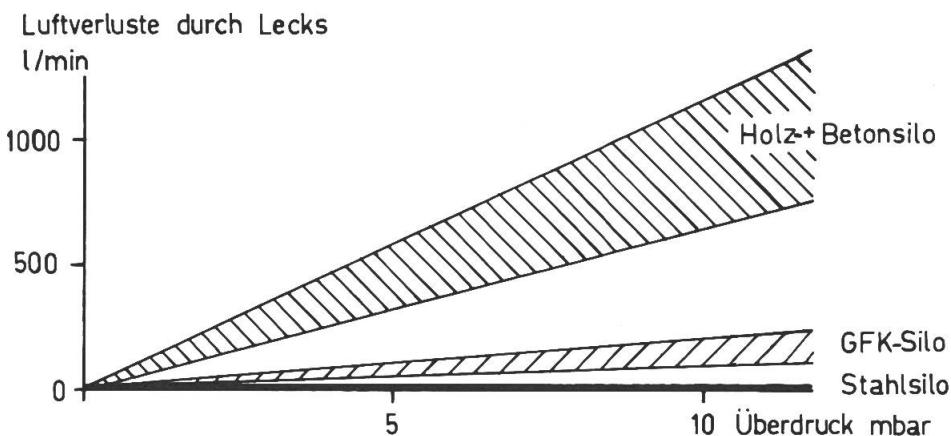


Abb. 7: Luftverluste durch Lecks in Abhängigkeit vom Überdruck bei verschiedenen Silobaustoffen.

Baumaterial ab. Sie nahm in folgender Reihenfolge zu: Holz und Beton, Kunststoff, Stahl. Auch stellten sich für jedes Silomaterial in einem Druckdifferenzbereich zwischen innen und aussen von ± 10 mbar (10 cm

Wassersäule) lineare Beziehungen zwischen Druckunterschied und Luftverlust je Minute ein (Abb. 7).

Bei einer durch Sonneneinstrahlung bewirkten Temperaturerhöhung von $3,3^\circ\text{C}$ bzw. 10

mbar Druckzunahme würden aus einem GFK-Silo zirka 40 l Luft je Minute ausströmen, während es bei einem Holzsilo zirka 500 l wären. In einem Beton- oder Holzsilo findet der Druckausgleich viel schneller statt. Anderseits ist in einem Beton- oder Holzsilo wegen des Wärmespeichervermögens und der Dämmwirkung der Wände die Temperaturerhöhung viel weniger hoch als in einem GFK-Silo. Wieweit beide gegenläufigen Tendenzen sich ausgleichen, wird noch untersucht.

Investitionsbedarf der verschiedenen Silotypen

In den Kosten ist alles inbegriffen (Transport, Montage, even-

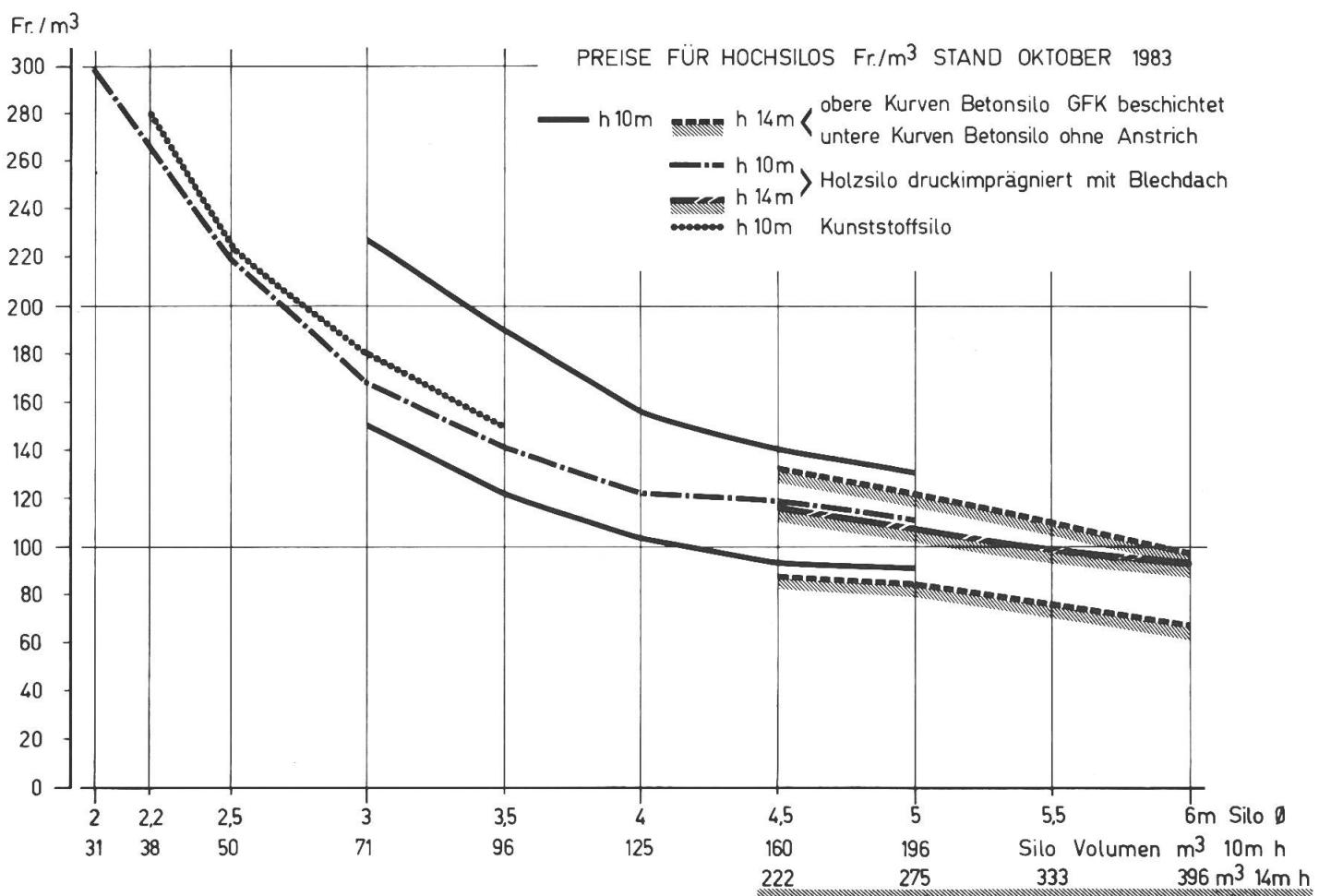


Abb. 8: Investitionsbedarf der verschiedenen Silotypen in Fr. pro m^3 Nutzraum bei verschiedenen Durchmessern, ohne Fundamentkosten.

tuelle Schutzanstriche, Eigenleistungen), aber ohne Fundament. Der Stahlsilo ist systembedingt mit einer Untenentnahmefräse versehen. Der Investitionsbedarf kann daher nicht direkt verglichen werden.

Wie Abb. 8 zeigt, hängt der Investitionsbedarf vor allem vom Durchmesser des gewählten Silos ab. Da heute besonders wegen der Nachgärungen oft Silos mit kleinen Durchmessern aufgestellt werden, sollte dieser Aspekt in einer Gesamtrechnung berücksichtigt sein.

Schluss

Die Futterverluste werden durch dichtere Silos reduziert. Durch die Vergärung von Futterpflanzen entstehen unvermeidbare Energieverluste. Die vermeidbaren Verluste sollten so tief wie nur möglich gehalten werden.

An der FAT werden zehn Hochsilos einem mehrjährigen Versuch unterzogen. Die hauptsächlichsten Luftverluste entstehen beim Ventil, beim Deckel, beim obersten Türchen und durch den Siphon.

In bezug auf die Dichtigkeit können die Silobaustoffe in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Stahlsilo,
2. Kunststoffsilo,
3. Holz- und Betonsilo.

Wie weit sich das bessere Wärmespeichervermögen und die Wärmedämmung der Wände der Holz- und Betonsilos gegenüber der grösseren Dichtigkeit der GFK-Silos ausgleichen, wird untersucht.

Der Investitionsbedarf für Hochsilos hängt weitgehend vom Durchmesser des gewählten Silos ab. Dünne hohe Silos sind teurer als dicke niedere Silos mit dem gleichen Inhalt.

Energieberatung in der Landwirtschaft

Der Regierungsrat des Kantons St. Gallen hat an die ergänzende Bearbeitung eines Computerprogramms, das grobe Energieanalysen für landwirtschaftliche Betriebe durchführt, einen Staatsbeitrag von 25'000 Franken zugesichert. Die Kosten gehen zu Lasten des Kontos «Energieeinsparung und Ölsubstitution» im Voranschlag des Baudepartementes.

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon, hat ein Konzept für die Energieberatung in der Landwirtschaft bearbeitet. Dazu gehört ein Computerprogramm, welches die Möglichkeit schafft, grobe Energieanalysen für landwirtschaftliche Betriebe durch-

zuführen. In Zusammenarbeit mit Fachlehrern der Landwirtschaftlichen Schule Flawil soll das Programm ergänzt und verfeinert werden, so dass es namentlich für folgende Problemstellungen verwendet werden kann: Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen, solare Heutrocknung, Holzfeuerung und Wärmerückgewinnung. Die Ergebnisse, mit denen noch im laufenden Jahr gerechnet werden kann, werden in einem allgemeinverständlichen Bericht vorgelegt. Dieser wird sämtlichen Interessenten zugänglich sein und als Grundlage für Empfehlungen bei Hofsanierungen und bei der Erneuerung von technischen Einrichtungen dienen.

Forschung und Entwicklung

Verschleissarme Zinkenspitzen und Bodenmeissel

Keramikverstärkte Zinkenspitzen und Bodenmeisselscharen, die dem Vernehmen nach eine neun- bzw. siebenfach höhere Verschleissfestigkeit haben als herkömmliche Stahlteile, hat eine englische Firma in Zusammenarbeit mit dem National Institute of Agricultural Engineering entwickelt.

Die speziell aus Tonerde-Kera-

mik entwickelten Sintox-Spitzen und Scharen sind dreimal härter als Stahl. Sie werden mit dem Stahlträgermaterial mit Hilfe einer von der Luftfahrtindustrie entwickelten Methode verbunden. Abgesehen von der Verlängerung der Lebensdauer konnte auch der für den Austausch der Teile erforderliche Zeitaufwand verkürzt werden.