

Für die Konstruktion und den Bau von Güllelagerbehältern ist von großem Interesse, ob die Gülle während der Wintermonate im Behälter gefriert und dadurch die Behälterwände beschädigt oder zerstört werden. Aus diesem Grund wurde während der Wintermonate 1968/69 und 1969/70 der Temperaturverlauf in der Gülle vom Stall bis zu den Lagerbehältern ermittelt. Untersuchungsobjekt war die Milchviehanlage der LPG „Freiheit“ Bad Dürrenberg. Zur Bestimmung des physikalischen Verhaltens der Gülle beim Einfrieren dienten Modellversuche in einem Gefrierkasten. Kalorimetrische Messungen an Gülle waren die Grundlage für die Berechnung der Wärmemenge in gefüllten Lagerbehältern.

1. Temperaturmessungen in der Praxis

Im Bild 1 sind die Meßstellen eingezeichnet, an denen die Temperatur in der Gülle ermittelt wurde.

Der im Bild 2 dargestellte Temperaturverlauf in den Fließkanälen zeigt, daß vom Anfall der Gülle am Tierplatz bis zur Sammelgrube Wärme verlorengeht. Da die Temperatur der Stallluft während des Meßzeitraums im Durchschnitt höher liegt als die Temperatur der Gülle im Fließkanal, ist der Wärmeverlust im wesentlichen durch die niedrigere Bodentemperatur bedingt. Die Schwankungen der Gülletemperatur sind dagegen mehr von der Temperatur der Stallluft als von der Bodentemperatur abhängig.

Die Temperatur in der Sammelgrube hängt stark von der Wärmedämmung insbesondere der Grubendecke ab. In einer offenen Sammelgrube hat beispielsweise die Temperatur der Außenluft auf die Gülletemperatur einen größeren Einfluß als die Bodentemperatur. In diesem Fall kann es sogar dazu kommen, daß bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt Wärme aus dem Boden an die Gülle übergeht.

Aus den Meßergebnissen über die Gülletemperatur im Stall und in der Sammelgrube läßt sich ableiten, daß die Kanal-mündungen und die Sammelgrube außerhalb des Stalles den örtlichen klimatischen Bedingungen entsprechend so wärmedämmend sein müssen, daß auch bei extremer Kälte die Temperatur in der Gülle nicht bis unter den Gefrierpunkt absinkt. Die Berechnung der notwendigen Wärmemenge ist auf der Grundlage der spezifischen Wärme der Gülle möglich.

Die Temperatur der Gülle im Tiefbehälter nimmt von der Behältersohle nach oben zur Oberfläche hin ab (Bild 3). Interessant ist, daß die Temperatur an der Gülleoberfläche (unter der Eisschicht) selbst bei sehr niedrigen Lufttemperaturen immer noch über der Bodentemperatur liegt. Die Gülletemperaturen auf der Behältersohle werden am wenigsten

durch die Schwankungen der Lufttemperaturen beeinflusst. Die Lufttemperaturen wirken sich mit einer Verzögerung bis zu drei Tagen auf die Temperatur der Gülle aus.

Die Temperaturen im Hochbehälter nehmen von der Mitte zum Rand und von der Behältersohle zur Oberfläche hin ab (Bild 4). In der Zeit vom 10. Februar bis 15. März bildete sich an der Behälterwand 40 cm unter der Schwimmschicht ein Eisring, der 50 cm in den Behälter hineinragte. Die Eisschicht an der Gülleoberfläche war zeitweise bis zu 15 cm dick. Die Temperaturschwankungen in der Gülle sind wie beim Tiefbehälter geringer als die der Außenluft, jedoch größer als die im Boden.

Im Vergleich zum Tiefbehälter sind die Durchschnittstemperaturen im Hochbehälter etwas niedriger und sinken zeitweise bis unter die Werte der Bodentemperatur ab (Bild 5). Sie liegen aber selbst nach der extremen Kälteperiode immer noch über dem Gefrierpunkt. Die in der Gülle enthaltene Wärmemenge reichte somit aus, daß die Gülle weder im Tiefbehälter noch im Hochbehälter vollständig gefror.

2. Gefrierversuche

Ergänzend zu den Messungen in der Praxis wurden Modellversuche über das Gefrieren von Rindergülle sowie Kot und Harn im Vergleich zu Wasser durchgeführt. Dazu dienten Plastgefäße, in denen jeweils 750 g der zu untersuchenden Substanz mit Hilfe von Trockeneis (CO₂) in einer Gefrierkiste eingefroren wurden. Die Gülleproben hatten einen Trockensubstanzgehalt von 5 bis 12,8 Prozent.

Im Bild 6 sind die Ergebnisse eines Versuchs grafisch dargestellt. Der degressiv fallende Kurvenverlauf ist damit zu erklären, daß einmal der Temperaturunterschied zwischen Substanz und Trockeneis mit der Zeit geringer wird; zum anderen setzt nach einigen Minuten in der flüssigen Phase die Eisbildung ein, so daß durch die Schmelzwärme der Substanz erheblich mehr Wärme entzogen werden muß als bei der alleinigen Abkühlung zu Beginn des Versuchs.

Die Temperaturkurven der Gülle fallen weniger stark ab als die von Wasser und Harn. Die Wärmeleitfähigkeit von Kot und Gülle muß deshalb geringer sein als die von Wasser und Harn. Die Ursache für die geringe Wärmeleitfähigkeit der Gülle läßt sich aus der physikalischen Zusammensetzung (feste Teile, Gasblasen) erklären.

Der Nullpunkt (Gefriertemperatur des Wassers) wird von den Substanzen in der zeitlichen Reihenfolge Harn — Kot — Wasser erreicht. Unterschritten wird der Nullpunkt bei den einzelnen Substanzen in der folgenden zeitlichen Reihen-

* Aus der Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin der Karl-Karx-Universität Leipzig — Bereich Technologie

Bild 1. Grundriß des Milchviehstalls und der Güllelagerbehälter in der LPG „Freiheit“ Bad Dürrenberg;
a Milchviehstall, b Tiefbehälter, c Hochbehälter, d Niveau der Temperaturmeßpunkte, e Fließkanal, f Sammelkanal, g Pumpe, h Rohrleitung

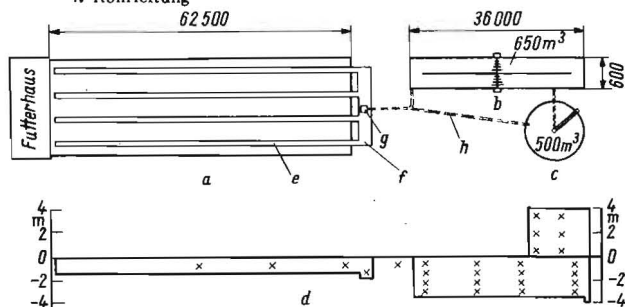
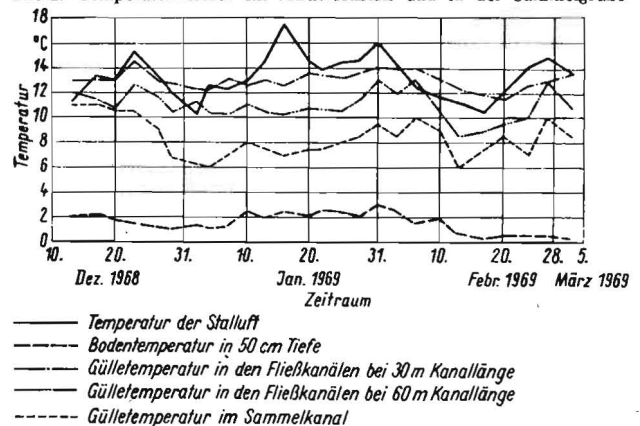


Bild 2. Temperaturverlauf im Milchviehstall und in der Sammelgrube



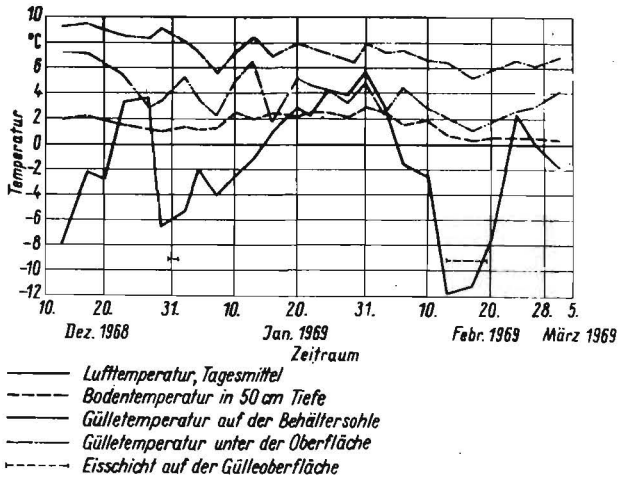


Bild 3. Temperaturverlauf im Tiefbehälter, Durchschnittswerte aus verschiedener Tiefe

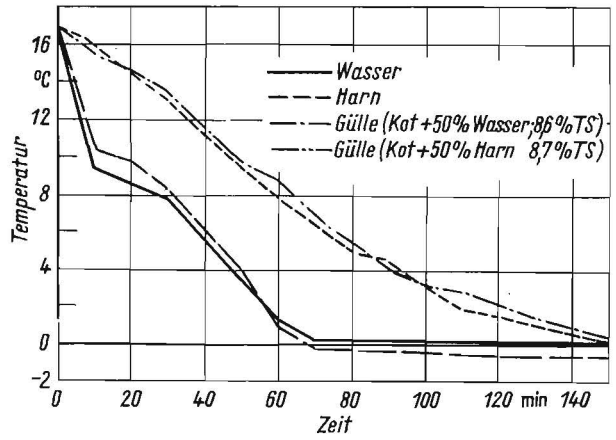


Bild 6. Temperaturverlauf beim Gefrieren verschiedener Substanzen im Modellversuch

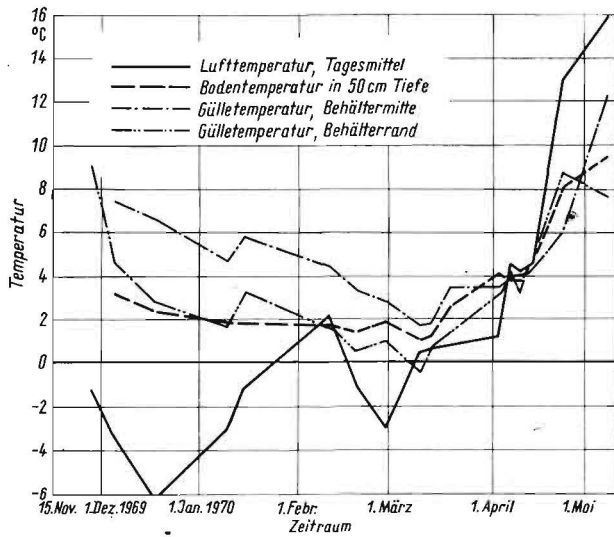


Bild 4. Temperaturverlauf im Hochbehälter, Durchschnittswerte von Mitte und Rand

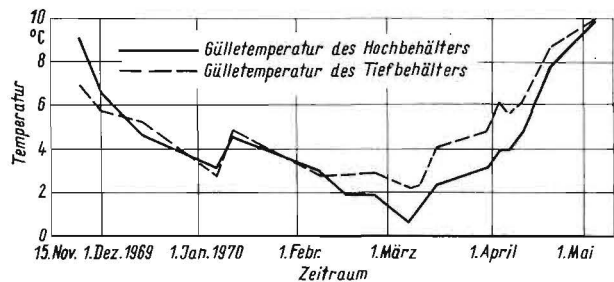


Bild 5. Temperaturverlauf im Tief- und Hochbehälter (Mittelwerte)

Tafel 1. Spezifische Wärme von Harn, Kot und Gülle

Substanz	TS-Gehalt %	Spezifische Wärme cal/g·grd
Wasser	0	1,000
Harn	4,35	0,779
Gülle	9,49	0,714
Gülle	13,81	0,660
Kot	15,34	0,412

folge: Harn — (Kot + Harn) — (Kot + Wasser) — Wasser. Obwohl die Versuche nicht immer unter gleichen Bedingungen und mit Substanzen verschiedener Herkunft durchgeführt wurden, ergibt sich bei allen Versuchen die gleiche zeitliche Reihenfolge. Daß der Harn den Nullpunkt zuerst unterschreitet, ist theoretisch erklärbar, denn es handelt sich um eine salzhaltige, wässrige Lösung. Beim Wasser bleibt dagegen die Temperatur von 0°C bis zum vollständigen Gefrieren erhalten. Gülle und Kot, die mit Harn verdünnt wurden, unterschreiten deshalb früher den Nullpunkt als mit Wasser verdünnter Kot.

Der Zeitpunkt, an dem die Substanzen vollständig gefroren sind, wird in der Reihenfolge erreicht: Kot — Gülle — Harn — Wasser. Danach müßten der Kot die geringste und das Wasser die höchste spezifische Wärme haben, was auch die kalorimetrischen Messungen bestätigen.

Die durchschnittlichen Endtemperaturen nach dem vollständigen Gefrieren betragen:

Harn	— 2,83 °C	Kot + Wasser	— 0,41 °C
Kot + Harn	— 2,06 °C	Wasser	± 0 °C
Kot	— 1,09 °C		

Auch diese Reihenfolge läßt sich theoretisch aus dem Temperaturverhalten von Wasser, wäßrigen Lösungen und festen Stoffen erklären, worauf allerdings in diesem Beitrag nicht näher eingegangen werden kann.

Von großem Interesse für die Praxis ist die Volumenvergrößerung der verschiedenen Substanzen beim Gefrieren. Es wurden folgende durchschnittliche prozentuale Volumenzunahmen ermittelt:

	bezogen auf Ausgangsvolumen	bezogen auf Wasser
Wasser	+ 15,2 %	100 %
Harn	+ 9,4 %	62 %
Kot	+ 4,3 %	28 %
Gülle (Kot + Harn)	+ 2,0 %	13 %

Die Volumenzunahme des Wassers liegt über dem theoretisch möglichen Wert. Diese Differenz ist auf die Meßfehler an den Plastgefäßen zurückzuführen, womit allerdings alle Werte gleichermaßen behaftet sind.

Interessant ist, daß die Volumenvergrößerung von Kot und Gülle geringer ist als die von Wasser und Harn. Dieser Sachverhalt läßt sich u. a. damit erklären, daß Kot und Gülle einzelne Gasblasen enthalten, deren Hohlräume mit Eis oder mit festen Teilen durch Verschiebung der Teile ausgefüllt werden. Unterstellt man, daß eine Beziehung zwischen der Volumenvergrößerung beim Gefrieren und dem Druck auf die Behälterwand besteht, dann müßte die „Sprengkraft“ von

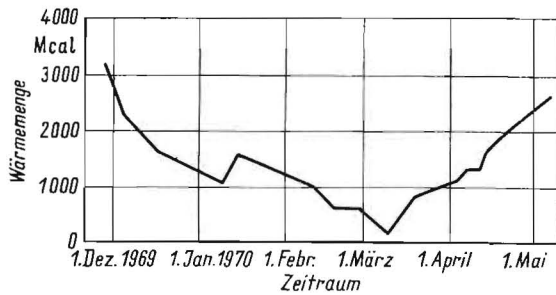


Bild 7. Wärmemenge im Güllehochbehälter während des Winters 1969/70

Wasser und Harn größer sein als die von Gülle. Demzufolge müßte ein mit Wasser oder Jauche gefüllter Lagerbehälter durch vollständiges Gefrieren eher zerstört werden als ein Behälter, in dem Gülle gelagert wird.

Es sei bemerkt, daß aus den Versuchen über die Volumenvergrößerung nur qualitative Aussagen getroffen werden können, da aus versuchstechnischen Gründen die Wärme nur an den Seitenwänden entzogen werden konnte. Unter Praxisbedingungen wird in offenen Lagerbehältern die Wärme nicht nur an den Seitenwänden, sondern auch von oben entzogen. Dadurch ergeben sich etwas andere Druckverhältnisse.

3. Kalorimetrische Messung

Für die Berechnung der in einem Güllebehälter vorhandenen Wärmemenge muß die spezifische Wärme der Gülle bekannt sein. Diese Kenngröße wurde im Kalorimeter bestimmt. Die Meßergebnisse sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Auf der Grundlage der kalorimetrischen Ergebnisse wurde für den Hochbehälter der Stallanlage in Bad Dürrenberg die Wärmemenge berechnet. Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt der Gülle betrug 11,7 Prozent, die spezifische Wärme somit $0,685 \text{ cal/g} \cdot \text{grad}$. Im Bild 7 sind die errechneten Wärmemengen grafisch dargestellt.

Am 27. November 1969 war in den 500 t Gülle eine Wärmemenge von 3170 Mcal enthalten. Infolge der niedrigeren Lufttemperaturen sank die Wärmemenge bis zum 10. März 1970 auf 190 Mcal ab. Der Wärmeverlust betrug somit 94 Prozent, wobei die durchschnittliche Gülletemperatur von $9,2^\circ\text{C}$ auf $0,6^\circ\text{C}$ abfiel. Am 10. Mai 1970 waren dann wieder 2600 Mcal in der Gülle enthalten.

Die Wärmemenge des völlig freistehenden Güllebehälters reichte also in dem strengen Winter 1969/70 aus, um die durchschnittliche Gülletemperatur nicht bis unter den Gefrierpunkt absinken zu lassen. Ein vollständiges Einfrieren des gefüllten Güllebehälters ist selbst bei noch tieferen Temperaturen über einen längeren Zeitraum nicht zu erwarten, und zwar aus folgendem Grund: Beim Gefrieren muß der Gülle Schmelzwärme entzogen werden. Sie beträgt bei 11,7 Prozent Trockensubstanzgehalt je kg Gülle 54,5 Mcal. Dem Hochbehälter mit 500 t Masse müßten zusätzlich 27 250 Mcal Energie entzogen werden, damit er vollständig eingefriert. Das sind neunmal soviel Kalorien, wie von Dezember 1969 bis März 1970 entzogen wurden. Es ist also nicht zu erwarten, daß die Gülle in diesem Hochbehälter selbst in einem extrem strengen Winter vollständig gefriert.

4. Schlußfolgerungen

Aus den Temperaturmessungen in der Praxis, den Gefrierversuchen und den kalorimetrischen Messungen ergibt sich folgendes:

- Gülle mit hohem Trockensubstanzgehalt hat eine geringere spezifische Wärme als mit Wasser verdünnte Gülle. Sie gefriert bei Temperaturen unter dem Nullpunkt früher als Dünngülle. Dickgülle taut dagegen schneller wieder auf als Dünngülle

- Im Güllelagerbehälter gefriert eine Schwimmschicht aus festen Stoffen schneller als eine Flüssigkeitsschicht.
- Bei ansteigenden Temperaturen taut eine Schwimmschicht aus festen Stoffen schneller wieder auf als eine gefrorene Flüssigkeitsschicht.
- Die Bildung von Eis in der Gülle beginnt bei Temperaturen unmittelbar unter dem Gefrierpunkt.
- Die Geschwindigkeit des Einfrierens der Gülle im Lagerbehälter hängt im wesentlichen von folgenden Faktoren ab: Temperaturdifferenz, spezifische Wärme der Gülle, Wärmeübergangszahl, Wärmedurchgangszahl.
- Unter den klimatischen Bedingungen der DDR besteht nicht die Gefahr, daß während der Wintermonate die Gülle sowohl im Tiefbehälter als auch im Hochbehälter vollständig gefriert und dadurch die Behälter zerstört. Es ist nur damit zu rechnen, daß in offenen Behältern die Gülleoberfläche gefriert, wodurch die Homogenisierung der Gülle erschwert wird.

Die letzte Schlußfolgerung hat für den Bau von Lagerbehältern große Bedeutung. Denn wenn an Hochbehältern aus Gründen der Wärmedämmung keine Anböschung erforderlich ist, können die Bauinvestitionen nicht unerheblich gesenkt werden.

Der Winter 1969/70 war einer der kältesten in diesem Jahrhundert. Obwohl der Hochbehälter, in dem die Messungen durchgeführt wurden, völlig frei steht und oben offen ist, war die Wärmemenge der 500 m³ Gülle noch so hoch, daß sich nur an der Oberfläche und an der Außenwand eine Eisschicht bilden konnte. In Behältern über 500 m³ ist die Wärmemenge noch größer, so daß hierin noch weniger die Gefahr des vollständigen Gefrierens der Gülle besteht. Behälter von 100 bis 500 m³ dürften nach überschlägigen Berechnungen auch nicht vollständig eingefrieren, doch fehlen hierzu Meßergebnisse.

Offen bleibt noch die Frage, ob schon ein Eising an der Behälterwand einen Druck ausübt, der zur Beschädigung der Wand führt. Hierzu sind Untersuchungen seitens der Baustatik erforderlich. Danach kann endgültig entschieden werden, ob für Güllebehälter generell keine Anböschung notwendig ist oder ob bestimmte Behältertypen noch angebösch werden müssen.

Zusammenfassung

In Gefrierversuchen wurde festgestellt, daß Gülle unmittelbar unter dem Nullpunkt zu gefrieren beginnt. Gülle ohne Wasserzusatz gefriert schneller ein als mit Wasser verdünnte Gülle: sie taut dagegen bei ansteigenden Temperaturen schneller wieder auf als Dünngülle. Die spezifische Wärme der Gülle nimmt mit steigendem Trockensubstanzgehalt ab. Das Volumen der Gülle nimmt beim Gefrieren weniger zu als das von Wasser und Harn. Die Wärmemenge der Gülle in offenen Lagerbehältern über 500 m³ Volumen reicht aus, um unter den klimatischen Bedingungen der DDR das vollständige Einfrieren zu verhindern. Aus diesen Gründen ist eine Anböschung der Lagerbehälter zur Wärmedämmung wahrscheinlich nicht erforderlich.

Literatur

Heinze, M.: Temperaturverlauf bei der Güllelagerung. Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin der Karl-Marx-Universität: Fachgruppe Landtechnik, Diplomarbeit 1969

Schubarth, A.: Temperaturverhalten der Gülle im Hochbehälter. Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin der Karl-Marx-Universität, Fachgruppe Landtechnik, Diplomarbeit 1970

—: Temperaturverlauf bei der Lagerung von Rindergülle. Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin der Karl-Marx-Universität, Fachgruppe Landtechnik, Forschungsbericht Nr. 4502 021 Vt/9008/8 v. 15. Nov. 1970

A 8537