

Die Messung der Leitfähigkeit beim Milchentzug - Meßtechnik und erste Ergebnisse

Von Wolfgang Paul, Hermann Speckmann und
Walter Ihle, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,
Braunschweig-Völkenrode

DK 636:637.12:621.317.33

Die Leitfähigkeit der Milch ist ebenso wie die Temperatur geeignet, als Indikator für gesundheitliche Störungen von Milchkühen zu dienen. Der Aufbau von Sensoren für eine Messung der Leitfähigkeit während der normalen Melkroutine sowie die zugehörige elektrische Meßtechnik werden beschrieben.

Die grundsätzlich zu erwartenden physikalischen Fehlermöglichkeiten lassen sich in ihren Auswirkungen innerhalb der Toleranz halten. Erste praktische Ergebnisse zeigen die Brauchbarkeit der Leitfähigkeitsmessung für das Herdenmanagement, insbesondere für die Früherkennung von Euterkrankheiten.

1. Einleitung

Im Herdenmanagement steht neben der individuellen Fütterung und der Kontrolle der Milchleistung zunehmend auch die Überwachung der Tiergesundheit im Vordergrund. Durch automatische Erfassung physiologischer Daten hofft man, Abweichungen als Indikator für mögliche Erkrankungen bereits frühzeitig zu erkennen und in einem frühen Stadium mit der Behandlung einsetzen zu können.

Die Leitfähigkeit der Milch ist, ähnlich wie die Milchtemperatur, als Indikator geeignet, Veränderungen im physiologischen Zustand der Tiere anzuzeigen. Insbesondere Euterentzündungen (Mastitis), deren Kosten allein in der Bundesrepublik auf über 600 Millionen DM pro Jahr geschätzt werden, lassen sich durch Erfassen der Leitfähigkeit in den einzelnen Eutervierteln frühzeitig erkennen.

Die Leitfähigkeit der Milch ist in der Praxis als Indikator für klinische oder subklinische Mastitiden nur dann geeignet, wenn es gelingt, die Meßwerte automatisch während des Melkvorganges zu erfassen. Die Meßtechnik muß robust und preiswert sein und darf keinen zusätzlichen Bedienungsaufwand erfordern: beispielsweise muß die Leitfähigkeitsmeßzelle auch in der normalen Reinigungs-routine gesäubert werden können. Es wurde deshalb eine Meßzelle entwickelt, die in die Leitung des Milchentzugsystems integriert ist und das Messen der Leitfähigkeit beim Durchfließen der Milch ermöglicht. Da sich Entzündungen getrennt in den einzelnen Eutervierteln entwickeln können, ist jedes Melkzeug mit vier Meßzellen ausgerüstet.

Im folgenden Beitrag wird dargestellt, wie die Meßzellen und die elektrische Meßtechnik aufgebaut sind, und untersucht, mit welchen Fehlereinflüssen zu rechnen ist. Die Messungen erstrecken sich bis zum praktischen Einsatz und hier sowohl auf den Verlauf der Leitfähigkeit der Milch während eines Melkvorganges als auch auf die Entwicklung von Melkzeit zu Melkzeit. Diese Arbeiten werden bei Fortsetzung der Versuche zur Milchtemperaturmessung gemeinsam mit dem Institut für Betriebstechnik der FAL betrieben.

*) Dr.-Ing. W. Paul und Dipl.-Ing. H. Speckmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter, W. Ihle ist Elektrotechniker im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

2. Meßtechnik

2.1 Meßsystem

Das System zur Messung der Leitfähigkeit der Milch ist integriert in eine vorhandene karussellähnliche Melkanlage, deren 20 Melkzeuge bereits zur Messung der Temperatur der soeben ermolkenen Milch für jedes Euterviertel eingerichtet sind [1]. Das vorhandene mikrocomputergestützte Meßsystem wurde für die Messung der Leitfähigkeit erweitert, Bild 1. Die Meßtechnik besteht aus den Leitfähigkeits (LF)-Meßzellen als Sensoren, den Meßverstärkern und den Unterstationen, von denen jeweils eine einem Melkzeug zugeordnet ist. Die Auswertung der Signale für alle Unterstationen erfolgt zentral in einem Mikrocomputer.

Die Meßsignale der 4 einzelnen LF-Meßzellen eines jeden Melkzeuges laufen über die Meßverstärker an die jeweilige Unterstation. Dabei muß aus Gründen der Meßgenauigkeit auf strikte galvanische Trennung geachtet werden. Die den Melkzeugen zugeordneten 20 Unterstationen sind parallel über den Anwender-Bus und die Datenleitung mit dem mikrocomputergestützten Meßwertfassungssystem verbunden. Der Mikrocomputer kontrolliert die Meßwertaufnahme, bereitet die Daten auf und überträgt sie an eine zentrale Datenverarbeitungsanlage.

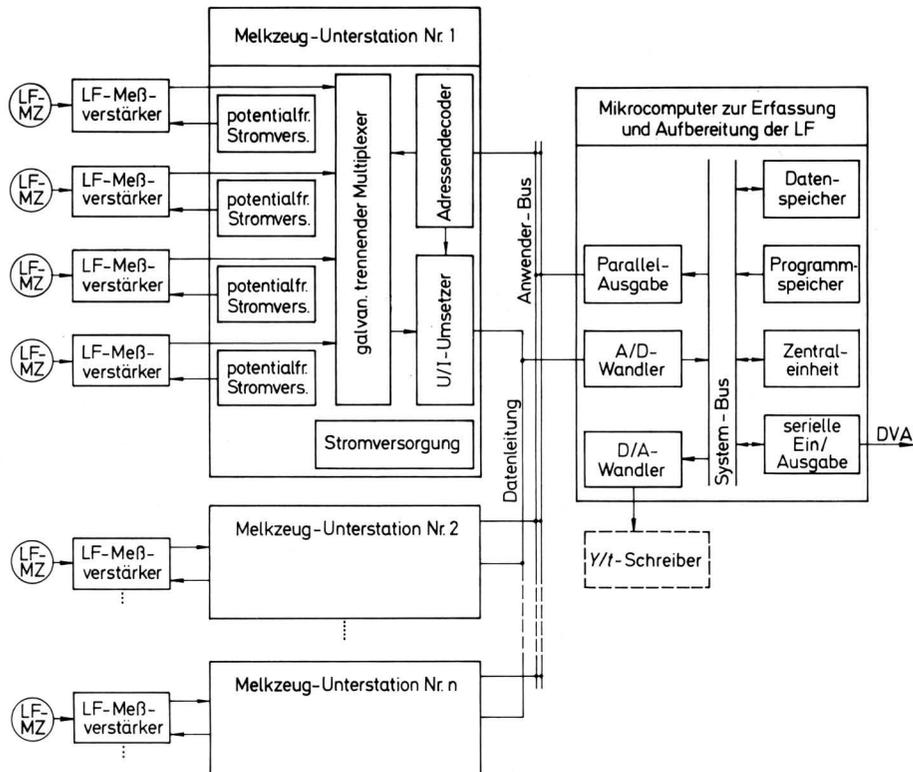
2.2 Meßzellen

Die Meßzelle zur Erfassung der Leitfähigkeit der Milch während des Melkvorganges ist eine Entwicklung der Firma WTW, Weilheim, Bild 2. Die Meßzellen werden in die vier kurzen Melkschläuche eines Melkzeuges zwischen Melkbecher und Sammelstück gesteckt und bleiben dort als Teil der Anlage, Bild 3.

Auswahl und Einsatz von Leitfähigkeitsmeßzellen sind stark vom Anwendungsfall abhängig [2]. Die Messung der Leitfähigkeit der Milch während des Melkvorganges ist insofern problematisch, als es gilt, die Kennwerte eines absätzig fließenden Mehrphasengemisches zu erfassen. Die Milch ist stark von Luftblasen durchsetzt, neigt teilweise sogar zum Schäumen. Meßzellen, die beim Durchfließen der Milch in der unveränderten Strömung messen, würden deshalb stark verfälschte Meßwerte anzeigen. Die notwendige Phasentrennung geschieht hier durch eine Überlaufvorrichtung (Bild 2). Die Milch gelangt über den Zulauf a in die Meßkammer c, von dort über den Überlaufraum b in den Auslauf e. Da die Milch in der Meßkammer c immer noch stark verwirbelt ist und sich unterschiedliche Füllhöhen einstellen, müssen zur Messung sogenannte Streufeldgeber d eingesetzt werden. Diese Geber bilden ein inhomogenes Feld aus, so daß z.B. der Einschluß von Luftblasen zu einem wesentlich geringeren Meßfehler führt als bei konventionellen Meßzellen.

2.3 Meßverstärker

Der Meßverstärker hat die Aufgabe, die Meßzelle zu versorgen und das der Leitfähigkeit proportionale Ausgangssignal der Meßzelle in eine entsprechende Spannung umzusetzen, Bild 4. Um störende Polarisierungseffekte an den Elektroden der Meßzelle zu verhindern, ist es erforderlich, diese zur Messung mit Wechselspannung zu betreiben.



Hierzu besitzt der Meßverstärker einen mit ca. 1 kHz schwingenden Oszillator (IC 1), der über einen Operationsverstärker (IC 2) die LF-Meßzelle ansteuert. Der Verstärker ist so geschaltet, daß über der LF-Meßzelle eine konstante Spannung von ca. 300 mV (Spitze-Spitze; abhängig von der Konstante der Meßzelle) abfällt. Um diese Spannung bei verschiedenen Leitfähigkeiten (Widerständen) aufrecht zu erhalten, wird mit Hilfe einer Regelschaltung der Strom durch die LF-Meßzelle und dem mit ihr in Reihe liegenden Widerstand (R 7) entsprechend nachgeregelt. Der Spannungsabfall für den Widerstand R 7 ist der Leitfähigkeit proportional.

Dieser Wechselspannungsabfall wird gleichgerichtet (IC 3) und steht am Ausgang des Meßverstärkers (IC 4) als schwach tiefgepaßtes Gleichspannungssignal zur Verfügung (0–2 V entspr. 0–20 mS/cm). Da der Meßverstärker seine Referenzspannung aus der Versorgungsspannung ableitet, muß diese gut stabilisiert sein.

Bild 1. Meßsystem zur Erfassung der Leitfähigkeit.

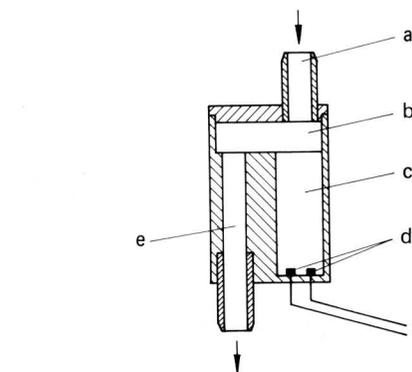


Bild 2. Meßzelle zur Bestimmung der Leitfähigkeit der durchströmenden Milch.

- a Zulauf
- b Überlaufräum
- c Meßkammer
- d Streufeldgeber
- e Auslauf

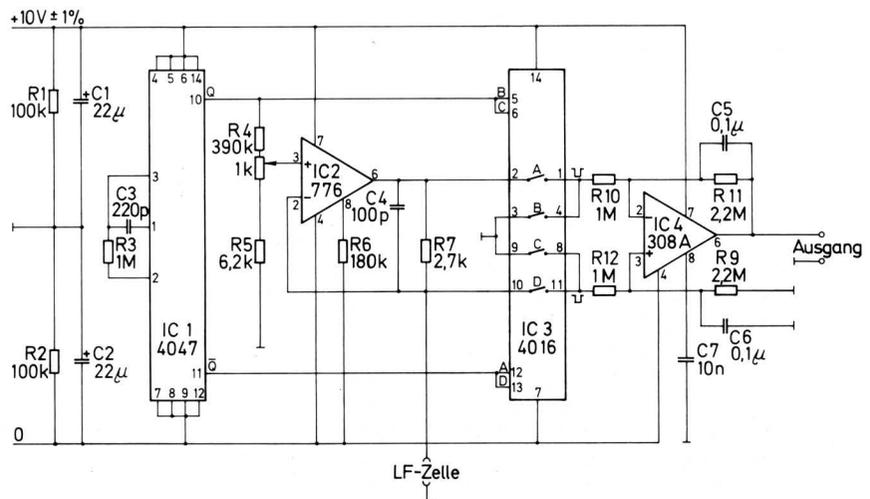


Bild 4. Meßverstärker für die Bestimmung der Leitfähigkeit.

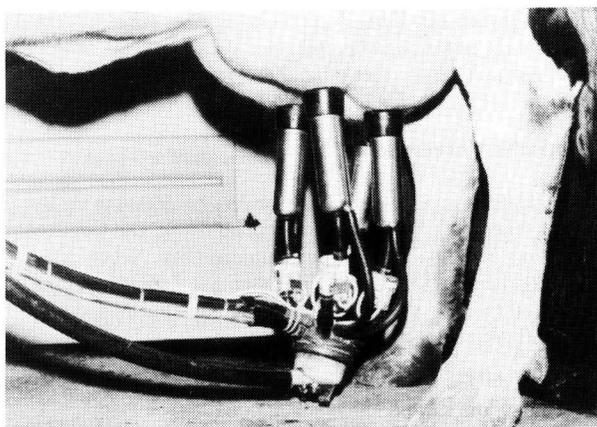


Bild 3. Melkzeug mit Leitfähigkeitsmeßzellen im praktischen Einsatz.

2.4 Melkzeug-Unterstation

Jedem Melkzeug ist eine Unterstation zugeordnet, die von dem Mikrocomputer angesteuert wird, Bild 5. Sie hat die Aufgabe, die Stromversorgung der LF-Meßverstärker sicherzustellen und die Meßwerte auf Anforderung dem Mikrocomputer zu übermitteln.

Jede Unterstation ist den 4 Eutervierteln entsprechend mit 4 LF-Meßeinrichtungen (LF-Meßzelle, Meßverstärker) ausgerüstet. Jede Meßeinrichtung wird über eine galvanisch getrennte Stromversorgung gespeist (U0 bis U3). Dies ist unbedingt notwendig, da Verkopplungen der einzelnen Meßzellen untereinander über die Leitfähigkeit des Kuhkörpers zu unzulässig hohen Verfälschungen der Meßwerte führen würden.

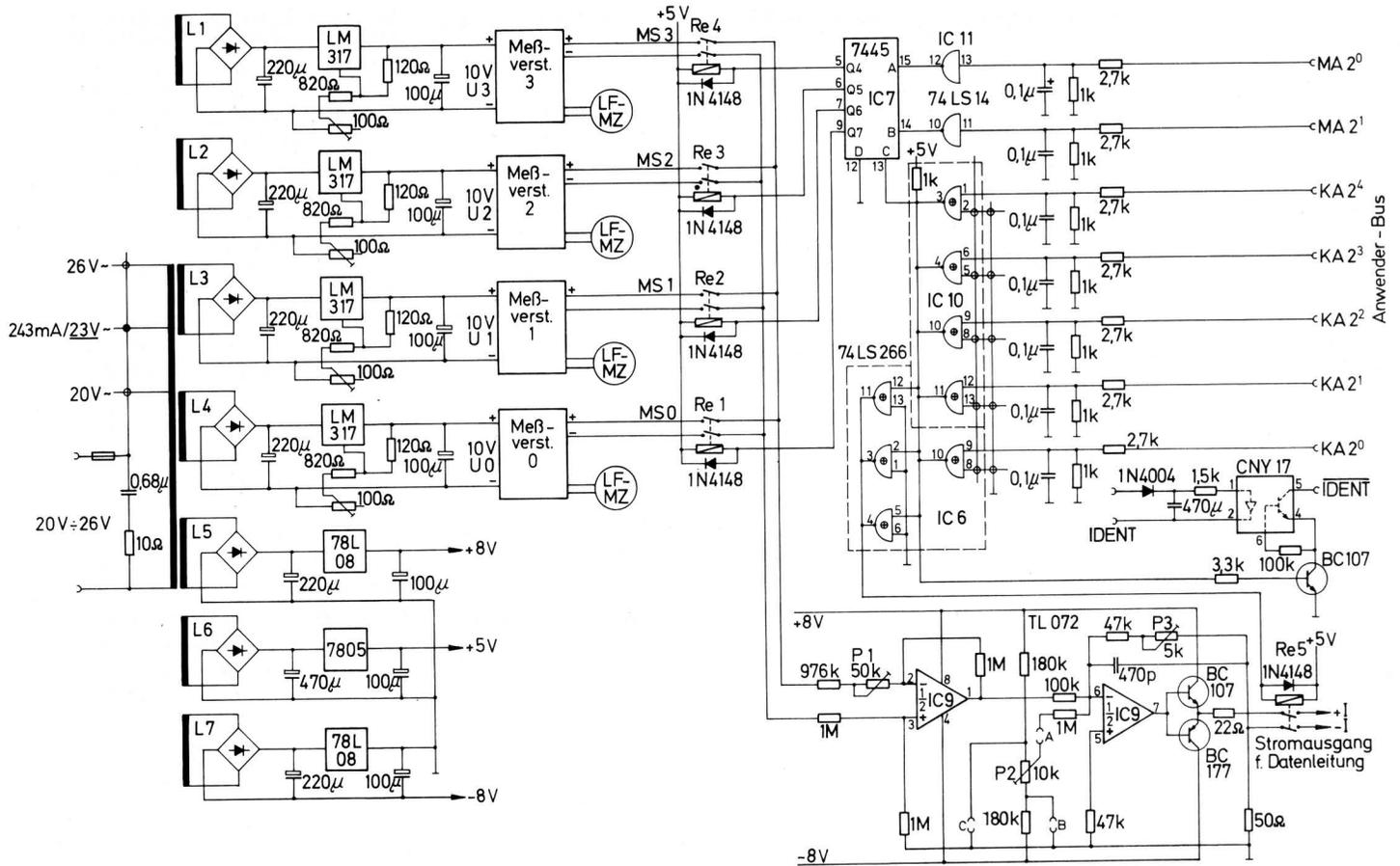


Bild 5. Stromlaufplan einer Melkzeug-Unterstation.

Die Ausgangsspannungen der 4 LF-Meßverstärker liegen ständig am Eingang eines galvanisch trennenden Multiplexers (Re 1 bis Re 4) an (MS0 bis MS3). Mit Hilfe des Adressendecoders (IC 6, 7, 10, 11) wählt der Mikrocomputer über die Kanaladresse KA²⁰ bis KA²⁴ eine Unterstation und über die Meßstellenadresse MA²⁰ bis MA²¹ eine Meßstelle an. Hierauf schaltet der Multiplexer in der angesprochenen Unterstation die entsprechende Meßstelle auf einen Spannungs/Strom-Wandler (IC 9). Dieser schaltet sich über ein Relais (Re 5) auf die Datenleitung und treibt einen der Leitfähigkeit entsprechenden Strom in den Analog/Digital-Wandler des Mikrocomputers. Die Übertragung des analogen Meßwertes in Form eines Stromes hat gegenüber einer Spannung den Vorteil, in weiten Bereichen unabhängig von Leitungs- und Übergangswiderständen zu sein.

2.5 Mikrocomputer

Der eingesetzte Mikrocomputer dient zur Erfassung und Aufbereitung der Milchleitfähigkeitsmeßwerte, Bild 1. Er bearbeitet im betrachteten Fall 80 LF-Meßstellen (20 Melkzeuge mit je 4 Meßstellen). Die Meßwerterfassung wird zyklisch alle 50 ms gestartet. Hierbei hat der Rechner die Aufgabe, über seine Parallelschnittstelle nacheinander alle 80 Meßstellen anzuwählen und mit Hilfe eines schnellen Analog/Digital-Wandlers (Wandelzeit < 100 µs) die Meßwerte zu erfassen.

Gemessen wird intern je Meßstelle und Zyklus viermal. Der sich hieraus ergebende Mittelwert ist die Basis für alle weiteren Berechnungen. Bestimmt werden vom Mikrocomputer zwei verschiedene Maxima der Leitfähigkeit:

- der Maximalwert des direkten Signals als Wert zur Erfassung schneller Vorgänge wie zum Beispiel der kurzzeitig überhöhten Leitfähigkeit bei Melkbeginn;
- der Maximalwert des verzögert einsetzenden und softwaremäßig tiefgepaßten Signals für längere Meßzeiten wie zum Beispiel bei der Messung des Hauptgemelks. Es wird softwaremäßig ein 4stufiger Tiefpaß mit einer Zeitkonstanten von ca. 15 s gebildet.

Diese so errechneten Daten der Leitfähigkeit für Vorgemelk und Hauptgemelk in jedem Euterviertel können über eine serielle Schnittstelle an eine zentrale Datenverarbeitungsanlage weitergegeben werden. Im Testbetrieb kann hier zur Protokollierung ein Blattschreiber bzw. Drucker angeschlossen werden. Über einen 4kanaligen Digital/Analog-Wandler besteht ferner die Möglichkeit, im online-Betrieb den Verlauf der Messung eines ausgewählten Kanals (einer Unterstation) während eines Melkvorganges kontinuierlich auf einem Y,t-Schreiber mitzuschreiben.

3. Statische Vorversuche

Leitfähigkeitsmessungen sind, insbesondere bei Messung im Durchfluß, von einer Vielzahl von Parametern abhängig. Die Genauigkeit der Messung ist deshalb sorgfältig zu untersuchen. Neben den grundsätzlichen physikalischen Einflüssen wie Temperaturgang und Polarisation sind vor allem auch mögliche konstruktiv bedingte Fehlereinflüsse zu beachten.

3.1 Temperatureinfluß

Die Abhängigkeit zwischen Leitfähigkeit und Temperatur der Milch ist in Bild 6 dargestellt. Die Leitfähigkeit erhöht sich danach im

interessierenden Temperaturbereich linear um $0,1 \text{ (mS/cm)/K}$, d.h. ca. 2 \%/K . Aus den Versuchen zur Temperaturmessung ist bekannt, daß beim Melkvorgang die Milch durch Melkschläuche etc. kaum abgekühlt wird [1]. Außer bei Auftreten von Fieber kann deshalb relativ konstant mit ca. 38 °C als Temperatur der soeben ermilkenen Milch gerechnet werden. Das gilt mit geringen Abstrichen auch für das Vorgemelk, wenn die Milch auf die zunächst noch kalten Wandungen auftrifft: Die Milch kühlt auch beim Einsetzen des Melkvorganges nicht stärker als bis auf 35 °C ab, nach ca. 20 s sind etwa 38 °C regelmäßig erreicht. Zahlreiche Temperaturüberwachungen haben dieses Ergebnis bestätigt. Eine standardisierte Zusatzmessung der Milchtemperatur erscheint deshalb im Praxiseinsatz für die reine Messung der Leitfähigkeit nur für das Vorgemelk notwendig. Auf den erheblichen Nutzen einer zusätzlichen Milchtemperaturmessung für die weitere Gesundheitskontrolle der Tiere sei jedoch hingewiesen [3].

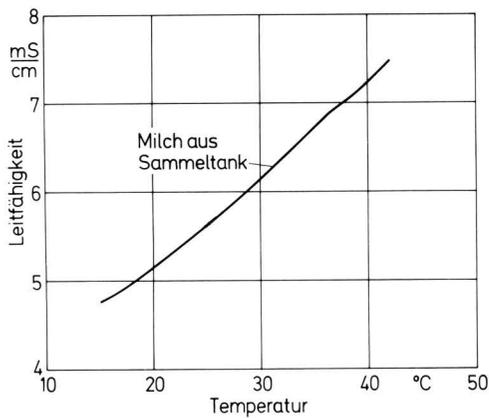


Bild 6. Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur der Milch.

3.2 Polarisation

Polarisation kann bei der Leitfähigkeitsmessung von Flüssigkeiten grundsätzlich zu Fehlern führen. Der Fehler wird klein bei geeigneter Auslegung der Elektroden und kann bei Wahl einer ausreichend hohen Frequenz fast völlig vermieden werden. Nach *Prentice* [4] ist der Polarisationsfehler umgekehrt proportional der Wurzel aus der Frequenz. Der Frequenzgang der Leitfähigkeit nach **Bild 7** zeigt diese Abhängigkeit. Der weiterführende Ansatz nach [4], wonach bei homogenisierter Milch aus den Leitfähigkeitsmessungen bei unterschiedlichen Frequenzen auch der Gehalt an Inhaltsstoffen in der Milch festgestellt werden kann, konnte im Grundsatz bestätigt werden. Der Effekt war jedoch bei der vorgegebenen Apparatur viel zu gering, als daß daraus hier Nutzen gezogen werden könnte. Die praktischen Messungen wurden deshalb bei konstant 1 kHz durchgeführt.

3.3 Füllung der Meßkammer

Die eigentliche Meßkammer hat ein Volumen von ca. 8 ml . In **Bild 8** ist die Leitfähigkeit über der Füllung aufgetragen. Der Endwert wird bei halber Füllung um nur $2,5 \text{ \%}$ unterschritten. Auch bei unruhiger Strömung, Luftblasen oder unvollständiger Füllung kann deshalb mit einem für Betriebsmeßzwecke geeigneten Signal gerechnet werden. Erst wenn die Füllung weniger als ein Viertel des Meßkammervolumens beträgt, entsteht ein deutlicher Abfall. In der Praxis wurde dies beobachtet, wenn bei starkem Milchfluß der Milchstrahl einen Großteil der Flüssigkeit in der Meßkammer wieder ausschleudert. Das probeweise Einbringen eines Pralltellers hat diesen Effekt deutlich vermindert.

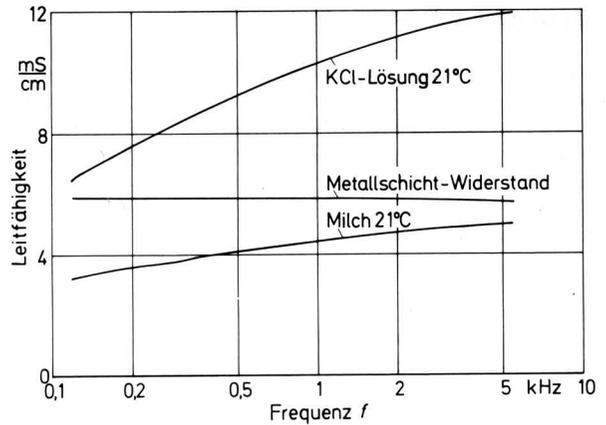


Bild 7. Leitfähigkeit als Funktion der Frequenz für Milch, KCl-Lösung und einen Metallschicht-Widerstand.

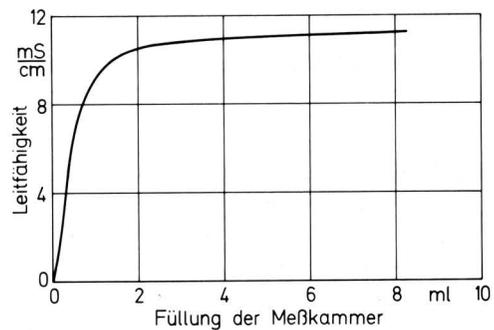


Bild 8. Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Füllung der Meßkammer; Meßkammervolumen 8 ml .

3.4 Neigung der Meßzelle

Von noch geringerem Einfluß auf das Ergebnis der Leitfähigkeitsmessung ist die Neigung der Meßzelle. Ein Abweichen der Meßkammerachse von der Senkrechten, mit dem in der Praxis immer gerechnet werden muß, verursacht in allen Drehrichtungen keinen nennenswerten Fehler. Erst das aus der Annäherung an die Waagerechte resultierende Auslaufen der Meßkammer bei über 60° Abweichung von der Senkrechten führt zu deutlichen Fehlern. Im Normalfall ist die Meßzelle gegen Abweichungen von der Senkrechten weitgehend unempfindlich, **Bild 9**.

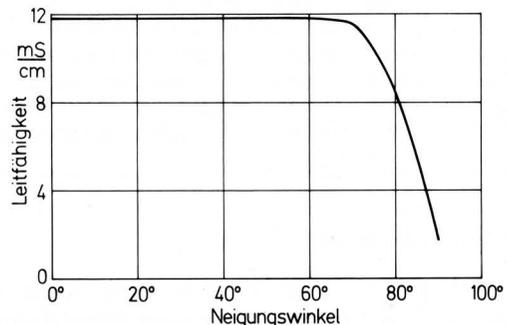


Bild 9. Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Neigungswinkel der Meßkammerachse gegenüber der Senkrechten.

4. Melkstandversuche

In Melkstandversuchen wurden die Einflüsse dynamischer Art auf die zu erwartende Meßgenauigkeit untersucht. Es konnte festgestellt werden, daß Variationen in der Höhe des Unterdrucks und im Taktverhältnis, d.h. der Zeitanteile von Saugtakt und Entlastungstakt, keinen meßbaren Einfluß auf die Anzeigegenauigkeit haben. Fehler entstehen jedoch bei Eintreten von Nebenluft und durch Alterung der Meßzelle.

4.1 Nebenluft

Nebenluftströme ab $2 \text{ m}^3/\text{h}$ führen zunehmend zu beträchtlichen Fehlern bei der Messung der Leitfähigkeit mit den vorgestellten Meßzellen, **Bild 10**. Die Milch schäumt und wird zunehmend vom Luftstrom aus der Meßkammer herausgeblasen. Der Fehler, der auch schon bei kleinen Nebenluftströmen ein Nebenmaximum zu haben scheint, wird dann zusehends größer. Ob durch konstruktive Maßnahmen (Luftabscheider) hier eine Verbesserung zu erreichen sein wird, bleibt späteren Untersuchungen vorbehalten. Milch ist im übrigen gegenüber Beimischung von Nebenluft wesentlich empfindlicher als die üblichen nicht schäumenden Salzlösungen, die so gern als Testflüssigkeiten verwendet werden. Da in der Praxis jedoch große Nebenluftströme selten sind, kann die Meßzelle trotz der festgestellten Abhängigkeit eingesetzt werden.

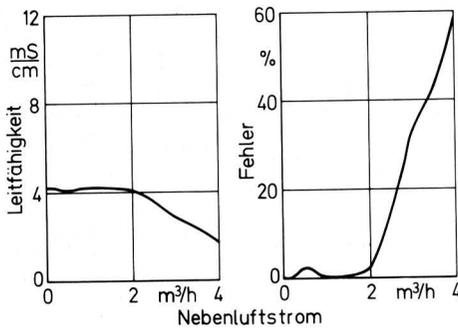


Bild 10. Leitfähigkeit und Meßfehler bei der Ermittlung der Leitfähigkeit der Milch in Abhängigkeit vom Nebenluftstrom.

4.2 Alterung

Fabrikneue Meßzellen unterliegen in den ersten Wochen ihres Einsatzes einem beträchtlichen Alterungseffekt, der ein Abfallen des LF-Meßwertes von bis zu 20 % bedingt, **Bild 11**. Ob hier durch die Milch selbst oder durch die Reinigungsflüssigkeiten Veränderungen an den Elektrodenoberflächen stattfinden, kann nur vermutet werden. Tatsache ist, daß im Verlauf des Einsatzes (und zwar nur bei Stromfluß in den Meßzellen) die Konstanten der Meßzellen sich beträchtlich verringern, so daß eine angestrebte Langzeitmessung von Melkzeit zu Melkzeit erst nach der Einlaufzeit von ca. 2 Wochen sinnvoll erscheint. Das notwendige Nachkalibrieren erschwert den praktischen Einsatz, sofern es nicht gelingt, geeignete "gealterte" Meßzellen herzustellen.

4.3 Filterung des Signals

Zur Darstellung der Filtereigenschaften der Meßwertverarbeitung dient **Bild 12**. Mit Salzlösung wurde bei einem Nebenluftstrom von $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ein Betriebszustand gewählt, der extrem unruhige Signale erzeugt. Im Normalfall sind die Kurven sehr glatt. Die Verwirbelung war hier so stark, daß im Durchschnitt nur noch etwa ein Drittel der Meßkammer gefüllt war. Das Signal nach dem Meß-

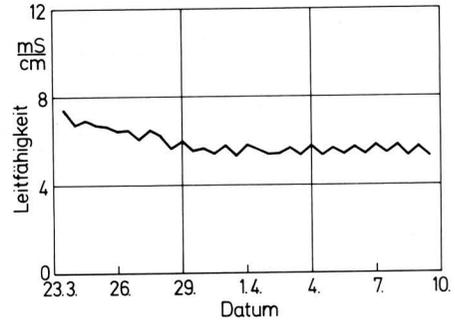


Bild 11. Alterungseffekt; d.h. Abfallen des Leitfähigkeitsmeßwertes einer Meßzelle im Verlauf des Einsatzes.

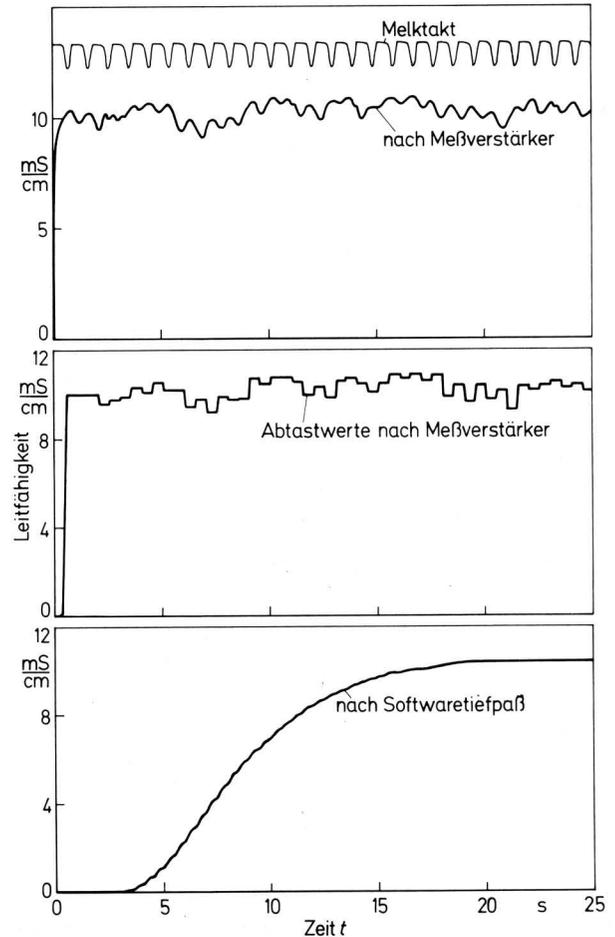


Bild 12. Filtereigenschaften der Leitfähigkeits-Meßwertverarbeitungsanlage.

verstärker ist deshalb stark schwankend, eine Zuordnung zum Melktakt erscheint möglich. Die Abtastwerte folgen den schnellen Werten des Meßverstärkers kaum zeitverzögert. Der softwaremäßige Tiefpaß mit Ausreißerkontrolle ist so ausgebildet, daß er erst nach längerer Zeit den wahren Wert erreicht, dann allerdings sehr stabil hält. Insbesondere Überhöhungen der Leitfähigkeit im Vorge melk werden so nicht erfaßt. Der bei jedem Filter zu schließende Kompromiß zwischen Mittelwertbildung und Zeitverzögerung wurde hier bewußt sehr stark zur Mittelwertbildung hin verschoben.

5. Versuche am Tier

5.1 Verlauf der Leitfähigkeit während des Melkvorgangs

Die Leitfähigkeit der Milch kann in gewissem Umfang während des Melkvorgangs schwanken. Vorgemelk und Nachgemelk haben bisweilen leicht erhöhte Werte. Ein Beispiel für dieses Verhalten ist in **Bild 13** dargestellt (Werte nicht temperaturkorrigiert). Wie stets bei physiologischen Werten ist hier jedoch eine Variationsbreite von Kuh zu Kuh festzustellen. Bei vielen Kühen fallen die Überhöhungen im Vorgemelk sehr gering aus, die Überhöhungen im Nachgemelk fehlen häufig ganz. Art und Form der Überhöhung im Vorgemelk können schwanken. Oftmals sind insbesondere bei gesunden Tieren kaum Unterschiede in der Leitfähigkeit zwischen Vor- und Hauptgemelk feststellbar, **Bild 14**. Nach ca. 30–40 s ist die stabile Leitfähigkeit des Hauptgemelkes erreicht. Der stabil anstehende Hauptwert der Leitfähigkeit wird in der Praxis höchstens bei sehr starkem Milchfluß gestört, wenn der Milchstrahl unverhältnismäßig viel Milch aus der Meßkammer des Gebers herausschleudert. Ein eingebauter Prallteller hat hier Abhilfe geschaffen. Die Technik der wiederholten und häufigen Abtastung der Meßwerte hat im übrigen hier jedoch auch in ungünstigen Fällen kaum Fehler zugelassen.

Bei Mastitis (natürliche Infektion) ist für das kranke Euterviertel (HL) (flockige Milch) deutlich eine Erhöhung der Leitfähigkeit zu erkennen, **Bild 15**. Neben der Überhöhung im Vorgemelk hat aber auch die Leitfähigkeit im Hauptgemelk leicht erhöhte Werte. Zur Mastitiserkennung scheint deshalb die Aufnahme der Werte von Vorgemelk und Hauptgemelk angebracht, da die Spitzenwerte im Vorgemelk bei Krankheit empfindlicher reagieren.

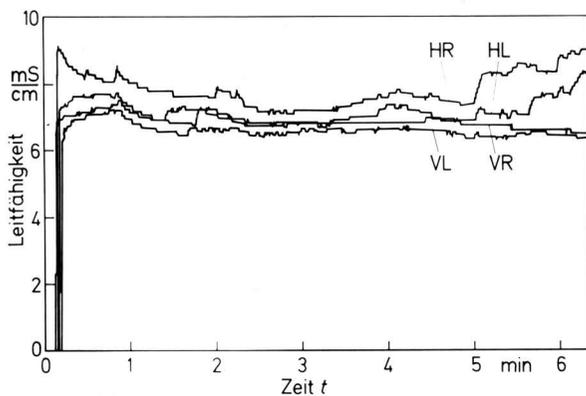


Bild 13. Verlauf der Leitfähigkeit der Milch einzelner Euterviertel während des Melkvorganges.

VL vorne links VR vorne rechts
HL hinten links VL hinten rechts

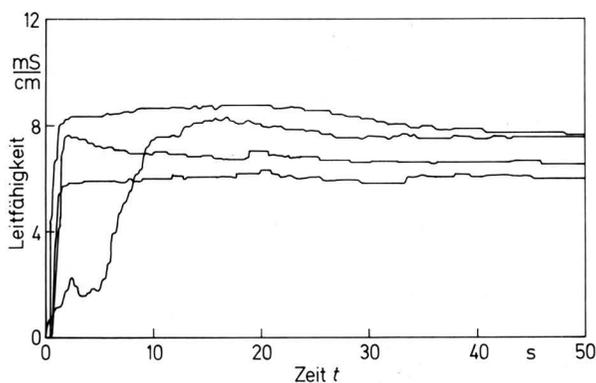


Bild 14. Verschiedene Formen erhöhter Leitfähigkeit bei Melkbeginn.

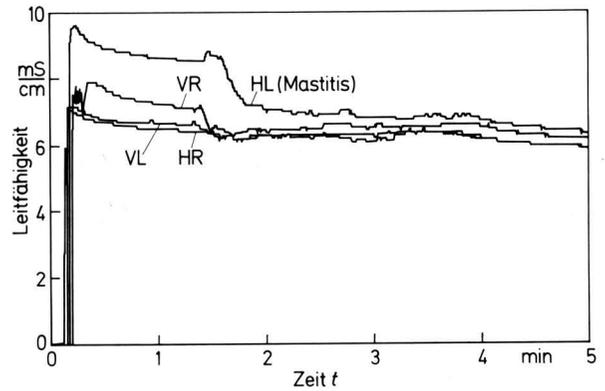


Bild 15. Verlauf der Leitfähigkeit bei Euterentzündung.

5.2 Verlauf der Leitfähigkeit im Verlauf der Laktationsperiode

Für die ersten Langzeitmessungen sind im folgenden die maximalen Leitfähigkeiten der Milch von Melkzeit zu Melkzeit sowohl im Vorgemelk als auch im Hauptgemelk aufgetragen. Im Normalfall ergeben sich gleichförmige Kurven, eventuell mit geringen regelmäßigen Schwankungen zwischen morgens und abends. Die Kurven sind hier nicht temperaturkorrigiert. Vorgemelk und Hauptgemelk sind ohne nennenswerte Unterschiede, **Bild 16**. Die Entwicklung einer Mastitis (natürliche Infektion) an einem Tier, welches aus Anlage zur Euterentzündung neigt, ist in **Bild 17** dargestellt. Der gekennzeichnete Peak ist das Maximum der Leitfähigkeit im Hauptgemelk aus der entsprechenden Kurve von **Bild 15**. Es scheint, daß sich die Krankheit durch überhöhte Werte schon zeitig angekündigt hat. Die Leitfähigkeiten von Vorgemelk und Hauptgemelk lagen hier schon eine Zeitlang auseinander ("subklinische Mastitis"), bevor die Krankheit erkannt und behandelt wurde. Nach der Penicillin-Behandlung sind die Werte der Leitfähigkeit deutlich gesenkt und liegen in Vorgemelk und Hauptgemelk nahe beieinander.

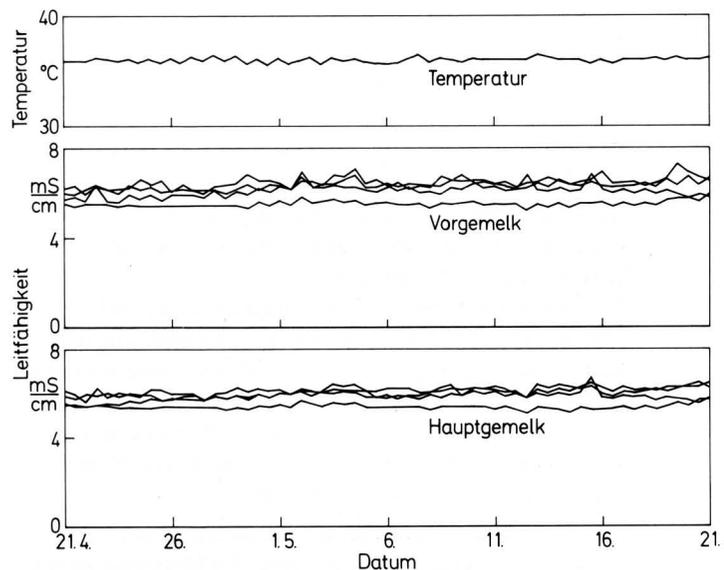


Bild 16. Langzeitmessung der Leitfähigkeit; Normalverlauf.

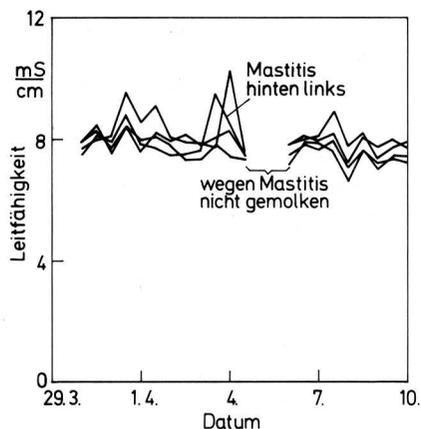


Bild 17. Langzeitmessung der Leitfähigkeit; Verlauf bei Euterentzündung.

6. Zusammenfassung

Die Messung der Leitfähigkeit der Milch unmittelbar nach dem Austritt aus dem Euter ist im Dauereinsatz während der normalen Melkroutine mit ausreichender Genauigkeit möglich. Das mikrocomputergesteuerte Meßsystem erweist sich als robust und wenig fehleranfällig. Erste Vorversuche zeigen eine sicher erfassbare Leitfähigkeitserhöhung bei Euterentzündung (Korrelation Zellzahl-Leitfähigkeit). Die Messung der Leitfähigkeit ist somit geeignet als Indikator für gesundheitliche Störungen wie Mastitis. Große Leitfähigkeiten lassen dabei auf Krankheit schließen, starke Unterschiede in den Leitfähigkeiten von Vorgemelk und Hauptgemelk sind

ein zusätzlicher Indikator. Ähnlich wie bei Fieber das Überschreiten bestimmter Grenzwerte in der Temperatur ein Indikator für Sonderzustände ist, so ist die erhöhte Leitfähigkeit der Milch ein ausgeprägtes Indiz für Erkrankungen des Euters. Der in der Literatur gestellten Forderung, zur Erkennung von Krankheiten die Leitfähigkeit über größere Zeiten zu verfolgen und die so entstandene Zeitreihe zu analysieren [5], kann widersprochen werden. Diese Aussage ist für die Anwendung von Wichtigkeit, weil damit beim praktischen Einsatz auf umfangreiches und teures Computergedächtnis verzichtet werden kann.

Schrifttum

- [1] Paul, W. u. H. Speckmann: Die Messung der Milchttemperatur als Mittel zur Überwachung der Tiergesundheit und zur Steuerung des Milchentzuges. Grundl. Landtechnik Bd. 29 (1979) Nr. 6, S. 201/207.
- [2] Rommel, K.: Auswahl und Einsatz von Leitfähigkeitsmeßzellen. Labor Praxis Bd. 8 (1984) Nr. 3, S. 171/74.
- [3] Schlüsen, D., H. Schön, R. Artmann, W. Paul u. H. Speckmann: Eignung der automatischen Milchtemperaturerfassung zur Gesundheitsüberwachung und Brunstkontrolle in der Milchviehhaltung. Landbauforschung Völkenrode Bd. 31 (1981) Nr. 4, S. 241/50.
- [4] Prentice, J.H.: The conductivity of milk — the effect of the volume and degree of dispersion of the fat. Journ. Dairy Research Bd. 29 (1962) S. 131/39.
- [5] Datta, A.K., H.B. Puckett, S.L. Spahr u. E.D. Rodda: Real time acquisition and analysis of milk conductivity data. ASAE Paper-No. 82-3529, St. Joseph 1982.

Luftführung in Fahrerkabinen unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit

Von Jan Janssen, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:628.8:628.863

Die während der Haupteinsatzzeit oftmals in geschlossenen Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge auftretenden thermischen Belastungen können meist nur durch große Zuluftvolumenströme mit niedrigen Zulufttemperaturen reduziert werden.

Eine Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Zuluftbedingungen und Arten der Zuluftzuführung auf das Kabinenklima, wobei als Maßstab ein Klimasummenmaß (PMV-Index) und dessen örtliche Abweichungen vom Mittelwert dienen, zeigt, daß auch in Fahrerkabinen für einen großen Anteil von Personen behagliche Klimazustände geschaffen werden können.

*) Dipl.-Ing. J. Janssen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

1. Einleitung

In geschlossenen Fahrerkabinen landwirtschaftlicher Fahrzeuge können während der Haupteinsatzzeit Klimabedingungen auftreten, die nicht mehr ohne weiteres erträglich sind [1, 2, 3]. Diese Wärmebelastung soll meist durch eine intensive Zwangsbelüftung der Kabine abgebaut werden. Die Wirksamkeit der Belüftung läßt sich näherungsweise abschätzen, wenn man vollständige Durchmischung in der Kabine zugrunde legt, d.h. voraussetzt, daß die Lufttemperatur zu jeder Zeit an jedem Ort in der Kabine gleich ist [3].

Für diese Voraussetzung und einen Wärmestrom in die Kabine durch Sonneneinstrahlung u.a. von etwa 1,6 kW zeigt Bild 1 die Lufttemperaturerhöhung in der Kabine in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Temperatur der Zuluft. Nimmt man einen Zuluftvolumenstrom von etwa 400 m³/h an und sind Zuluft- und Außenlufttemperatur gleich ($\Delta\vartheta = 0$, obere Kurve), beträgt die Lufttemperaturerhöhung in der Kabine 7,9 °C. Abkühlung der Zuluft um 10 °C (mittlere Kurve) verringert beim gleichen Zuluftvolumenstrom die Temperaturerhöhung auf 1,4 °C.