Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 71 (1980)

Heft: 4

Artikel: Die Bedeutung der elektrischen Leitfähigkeit für die Milchanalytik und -hygiene : eine Literaturübersicht von 1954 bis 1979

Autor: Rüegg, M. / Bosset, J.O. / Pop, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983526

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: 02.07.2025

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

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **71**, 427–444 (1980)
Eingegangen 18. Juni 1980. Angenommen 2. Oktober 1980

Die Bedeutung der elektrischen Leitfähigkeit für die Milchanalytik und -hygiene: Eine Literaturübersicht von 1954 bis 1979

M. Rüegg, J. O. Bosset, E. Pop und *B. Blanc*
Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld, Bern
(Direktor: Prof. Dr. B. *Blanc*)

Einleitung

Seit der letzten Übersicht von *Schulz* (1) über die auf dem Gebiete der elektrischen Leitfähigkeit der Milch und Milchprodukte erschienenen Arbeiten sind mehr als 25 Jahre vergangen. In dieser Zeitspanne wurden zahlreiche neue Arbeiten veröffentlicht. Die vorliegende Arbeit versucht, die Ergebnisse dieser Arbeiten zusammenzufassen und die für die Milchanalytik und -hygiene relevanten Aspekte hervorzuheben. Da die Meßmethodik teilweise schon revidiert wurde (2), wird diese hier nur am Rande berücksichtigt. Es wird in diesem Zusammenhang auch auf eine Publikation von *Prentice* (3) verwiesen, der sich mit den Problemen der Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode, den Polarisationsphänomenen und der Wahl der Meßfrequenz beschäftigte.

Für die Beantwortung spezieller Fragen der Theorie, der Meßtechnik und allgemeiner Anwendungsmöglichkeiten wird auf die bekannten Monographien von *Oehme* (4) und *Pungor* (5) verwiesen.

Aus physiko-chemischer Sicht kann Milch als ein polydisperses System, bestehend hauptsächlich aus gelösten anorganischen und organischen «Salzen», gelöstem Milchzucker, kolloidal dispergierten Eiweißstoffen und grob dispergierten Fettpartikeln betrachtet werden. Hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit (χ) ist eine solche heterogene Lösung als ein System von sehr unterschiedlichen Leitern in einem homogenen Leiter anzusehen.

Den höchsten Anteil an der Leitfähigkeit der Milch haben die Salze, insbesondere die Chloride. Die Proteine, Lipide und die Lactose haben einen vergleichsweise geringen Einfluß. Im Endeffekt erniedrigen sie die Leitfähigkeit, indem sie die leitenden Ionen verdrängen und die Viskosität der Milch erhöhen. Alle technologischen Behandlungen und natürlichen Prozesse, die eine Konzentrationsänderung der Milchbestandteile hervorrufen, beeinflussen dementsprechend die Leitfähigkeit. Die extreme Komplexität des Systems, bedingt durch die mehr als 200 Bestandteile und die Vielfalt der zwischenmolekularen Wechselwirkungen, verunmöglicht es, einfache und allgemeingültige mathematische Beziehungen zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der

Milchzusammensetzung anzugeben. Zudem erschweren Sekundäreinflüsse bei der Messung empirische Untersuchungen. Daraus geht hervor, daß Leitfähigkeitsmessungen in Milch und Milchprodukten problematisch und nicht immer eindeutig interpretierbar sind. Dies mag auch ein Grund für den großen Streubereich der Literaturwerte für die elektrische Leitfähigkeit der Milch (0,38—0,63 S m^{-1} bei 25 °C (1)) und die manchmal widersprüchlichen Interpretationen verschiedener Autoren sein.

Biologische Faktoren

Spezies

Die Milchen verschiedener Spezies haben unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten (6—14) (Tabelle 1). Die spezifischen Unterschiede in der Leitfähigkeit reichen allerdings nicht aus, um Milchmischungen verschiedener Tierarten zu erkennen (10).

Tabelle 1. Elektrische Leitfähigkeit der Milch verschiedener Spezies

Spezies	Land	Leitfähigkeit (S m^{-1})[b]	Meßtemperatur (°C)	Referenz
Mensch	England	0,15—0,32	18	(1)
Kuh	Schweiz	0,451±0,009	20	a)
Kuh	Aegypten	0,833—1,296	25	(10)
Kuh	Indien	0,662±0,027	—	(11)
Kuh	Indien	0,467±0,02	30	(9)
Kuh	Indien	0,47	30	(8)
Kuh	Indien	0,376—0,462	—	(14)
Büffel	Aegypten	0,605—1,092	25	(10)
Büffel	Indien	0,669±0,022	—	(11)
Büffel	Indien	0,368	30	(8)
Büffel	Indien	0,360±0,018	30	(9)
Büffel	Indien	0,317—0,530	—	(14)
Ziege	Indien	1,391±0,033	—	(11)
Ziege	Indien	0,697	30	(8)
Schwein	England	0,31—0,33	25	(13)

a) Eigene Messungen. Jahresdurchschnitt von Mischmilchen von Simmentalerkühen.
b) Mittelwert und Standardabweichung oder Bereich.

Rasse und Einzeltier

Wegen der großen Schwankungen sind die Unterschiede zu gering, um scharfe Grenzen zwischen Rassen und Einzeltieren angeben zu können (8, 13, 15—20).

Geographische Lage, Klima, Jahreszeit, Fütterung und Melkeinflüsse

Heißes, trockenes Wetter erhöht und kaltes, feuchtes Wetter erniedrigt die Leitfähigkeit (1). Frisch gemolkene Milch soll eine größere Leitfähigkeit als einwandfrei gelagerte Milch haben und Morgenmilch eine kleinere als Abendmilch (9).

In unseren eigenen Versuchen über Futtereinflüsse hatte die Milch grüngefütterter Simmentaler Kühe während eines Sommers eine mittlere Leitfähigkeit von 0,43±0,03 S m^{-1} bei 20 °C. Die entsprechenden Werte für die dürrgefütterten Kühe lagen je nach Monat zwischen 0,46 bis 0,49±0,03 S m^{-1} bei 20 °C. Die Unterschiede waren statistisch signifikant.

Laktation und Alter

Die Kolostralmilch von Kühen enthält vier- bis sechsmal soviel Eiweiß, bedeutend mehr Kationen und Phosphat, aber weniger Lactose als reife Milch. Ihre Zusammensetzung variiert zudem stark von Tier zu Tier. Die Milch altmelkender Kühe hat, mit Ausnahme des Proteins, wieder kolostrumähnlichen Charakter, d. h. im wesentlichen mehr gelöste Salze und weniger Lactose. Die Leitfähigkeitsmessungen ergeben ein Maximum von ca. 0,5 S m^{-1} für eine Kolostralmilch von 15 Stunden post partum und ein Minimum von ca. 0,3 S m^{-1} am 16. Laktationstag (13, 20).

Gesundheitszustand

Die Milch subklinisch und klinisch kranker Kühe ist in ihrer chemischen Zusammensetzung gegenüber normaler Milch modifiziert (21). Das Ausmaß der biochemischen Veränderungen und damit auch der Leitfähigkeit ist abhängig vom Grad der Erkrankung, wobei sich mit der Intensität der Erkrankung die Zusammensetzung der Milch zunehmend derjenigen des Blutes nähert (Tabelle 2). Folgende Milchinhaltsstoffe zeigen eine Verschiebung: Der Fettgehalt wird vermindert, die Lactosekonzentration wird beträchtlich erniedrigt (was den Hauptgrund für die Verringerung der Gesamttrockenmasse darstellt), der Gehalt an Natrium und Chloridionen erhöht sich deutlich, die Kaliumionenkonzentration wird geringer und der Zellgehalt wird erhöht (16, 21 bis 23). Die Calcium- und Phosphatkonzentration bleibt weitgehend unbeeinflußt.

Tabelle 2. Einfluß der Mastitis auf die Leitfähigkeit, Konzentration der Lactose und den Gefrierpunkt der Kuhmilch (16)

Klinischer Zustand des Viertels	Leitfähigkeit bei 37 °C (S m^{-1})	Lactose (%)	Gefrierpunkt (°C)
1. Normal	0,563	4,65	−0,542
2. Fortgeschrittene Entzündung	0,595	4,30	−0,541
3. Akute Entzündung	0,686	3,75	−0,543

Milchinhaltsstoffe

Salze

Den größten Beitrag zur Leitfähigkeit liefern dissozierte, anorganische Salze. Dialysierte, entsalzte Milch weist nur noch eine sehr geringe Leitfähigkeit auf ((24), zitiert in

(1)). Im Milchserum liegen sehr komplizierte und labile Verhältnisse vor. Die Dissoziationsgleichgewichte und die Löslichkeit der Salze verschieben sich bei geringfügigen pH- und Temperaturänderungen.

Nach *Schulz* und *Sydow* (25) sind ca. 60% der Leitfähigkeit durch den Gehalt an Natrium- und Kaliumchloriden erklärbar. Der Natriumchloridgehalt in Milch schwankt beträchtlich (21, 26). Er steht in Zusammenhang mit der physiologischen Regulierung des osmotischen Druckes zwischen Milch- und Blutserum und mit der Lactosekonzentration der Milch (26; siehe auch Tabelle 2). *Puri* und *Parkasch* (11) fanden folgende lineare Beziehungen zwischen der elektrischen Leitfähigkeit χ in m S · cm^{-1} (bei 25 °C) und der Chloridkonzentration in mg/100 g Milch:

$$\chi = 0{,}685 + 0{,}139 \cdot [Cl^{-1}] \qquad (I)$$

Eine brauchbare Kennzahl nach *Schulz* und *Sydow* (25) ist die «chloridfreie» Leitfähigkeit. Bei einer mittleren Gesamtleitfähigkeit von 0,485 S · m^{-1} (bei 20 °C) beträgt die mittlere «chloridfreie» Leitfähigkeit 0,18 S · m^{-1}.

Fett

Vollmilch hat eine ungefähr 10% kleinere Leitfähigkeit als entrahmte Milch (35), und die fettärmere Kuhmilch hat eine höhere Leitfähigkeit als die Büffelmilch. Die Fettkügelchen haben durch die Anlagerung von Proteinkomponenten eine geringe Oberflächenladung. Der Einfluss des Fettes auf die Leitfähigkeit beruht einmal auf seinem Volumenanteil (Verdünnungseffekt) und zum anderen auf der Beeinflusssung der Ionenwanderung (Reduktion des leitenden Querschnitts). Das Fett ist der Hauptfaktor der Inhomogenität der Milch bezüglich der Leitfähigkeit. Die entfettete Milch verhält sich nahezu wie ein homogener Elektrolyt (15).

Durch die Fetthydrolyse entstehen freie Fettsäuren. In dissoziierter Form erhöhen diese die Elektrolytkonzentration und demzufolge die Leitfähigkeit (27). Bei der Messung der Leitfähigkeit mit Edelmetallelektroden werden Fettkügelchen auf der Elektrodenoberfläche adsorbiert. Die dadurch entstehende schlechtleitende Schicht stört die Messung. Diese Schwierigkeiten sind geringer im Hochfrequenzbereich und dürften nach unseren eigenen Beobachtungen weitgehend entfallen, wenn mit sog. elektrodenlosen hochfrequenten Meßverfahren gearbeitet wird.

Proteine

Die Proteine der Milch sind entweder im Milchserum gelöst (Molkenproteine), in kolloidaler Form dispergiert (Kaseinmizellen) oder auf der Oberfläche der Fettkügelchen adsorbiert. Die Gesamtladung der Proteine ist von pH-Wert, Ionenstärke, Konformation, Temperatur und weiteren Parametern abhängig und verschwindet beim isoelektrischen Punkt, der bei den verschiedenen Milchproteinen sehr unterschiedlich ist. Die Kaseinmizellen weisen beim pH-Wert der Milch (~ 6, 7) eine negative Nettoladung auf (27, 35). Ähnlich wie die Fettkügelchen können auch die Proteine bei der Messung der elektrischen Leitfähigkeit mit Edelmetallelektroden stören.

Lactose

Als neutrales Disaccharid hat die Lactose auf die Leitfähigkeit keinen direkten Einfluß. Beim enzymatischen Abbau der Lactose hingegen entstehen teilweise gut leitende Metaboliten. Dabei kommt der Milchsäure eine besondere Rolle zu, da sie einen Teil des kolloidalen Calciumphosphates in Lösung bringt und damit die Elektrolytkonzentration zusätzlich erhöht (27).

Die Lactose spielt auch zusammen mit den Alkalihalogeniden eine wichtige Rolle in der Regulierung des osmotischen Druckes. Konzentrationsschwankungen sind von Änderungen in der Natriumchloridkonzentration begleitet.

Wasser

Eine Verdünnung der Milch senkt einerseits die Leitfähigkeit wegen der Erniedrigung der Elektrolytkonzentration, erhöht aber andererseits die Leitfähigkeit infolge der Verschiebung von Dissoziationsgleichgewichten (Abb. 1). Umgekehrt erhöht das Konzentrieren der Milch die Leitfähigkeit bis zu einem Maximalwert. Wird dieser Punkt überschritten, sinkt die Leitfähigkeit wegen der Abnahme der Dissoziation, der erhöhten Viskosität und der interionischen Wechselwirkungen (siehe auch Abb. 4).

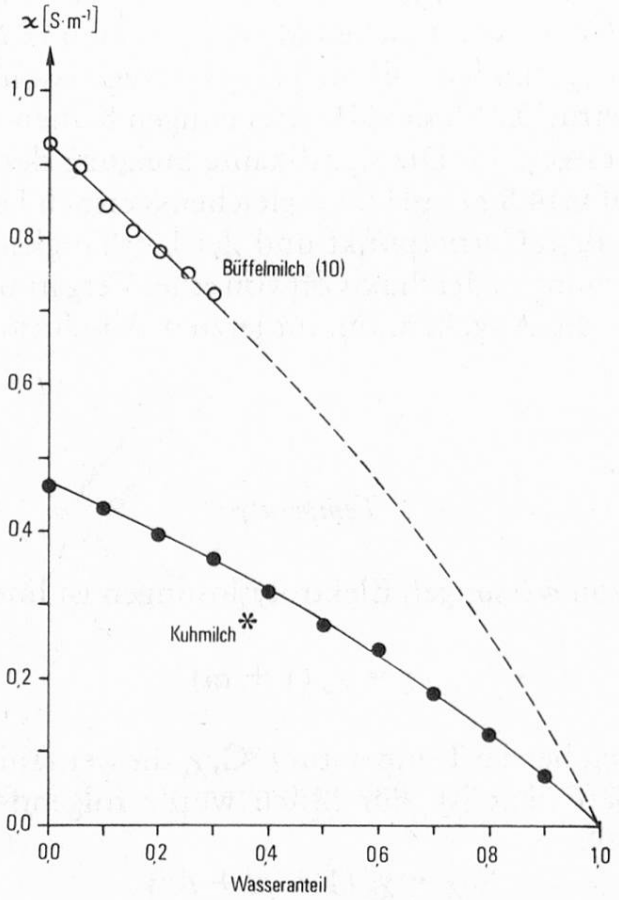

Abb. 1. Einfluß des Wasserzusatzes auf die elektrische Leitfähigkeit (χ) einer Kuh- und einer Büffelmilch (0,0 Wasseranteil entspricht unverdünnter Milch)
* Eigene Messungen mit Mischmilch von Simmentalerkühen bei 20 °C

Sharma und *Roy* (8) haben die Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Wassergehalt durch folgendes Polynom angenähert:

$$\chi = K_0 - K_1 \cdot x + K_2 \cdot x^2 \qquad \text{(II)}$$

wobei K_0, K_1 und K_2 Konstanten und x die Verdünnung in % darstellt. Für die Meßpunkte der Kuhmilch in Abbildung 1 wurden folgende Konstanten ermittelt:

$$K_0 = 0{,}461 \pm 0{,}040; \quad K_1 = -0{,}263 \pm 0{,}019; \quad K_2 = 0{,}193 \pm 0{,}018.$$

Physiko-chemische Parameter

pH-Wert

Der pH-Wert hat einen direkten Einfluß auf die Leitfähigkeit, da die Protonen und Hydroxylionen sehr klein und mobil sind. Er beeinflußt aber auch die Dissoziations- und Lösungsgleichgewichte und somit die Konzentration und Ladung der leitenden Partikeln. In eigenen Versuchen wurde eine signifikante Korrelation zwischen der Leitfähigkeit und dem pH-Wert von frischen Mischmilchen und Milchen einzelner Kühe im Verlaufe eines Jahres gefunden. Die Steigung der Regressionsgeraden im pH-Bereich von etwa 6,5 bis 6,9 betrug 0,31 S m^{-1} pH^{-1}. Bei einigen Kühen wurde während des Versuches eine Mastitis festgestellt. Die signifikante Steigung der Regressionsgeraden für gesunde Tiere sank auf 0,14 S m^{-1} pH^{-1}. Im gleichen Versuch konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Gefrierpunkt und der Leitfähigkeit festgestellt werden.

Da die pH-Erniedrigung in der Praxis oft von einer Vergärung der Lactose verursacht wird, gelten hier auch die Angaben, die im letzten Abschnitt über die Säuerung der Milch gemacht wurden.

Temperatur

Die Leitfähigkeit von wässerigen Elektrolytlösungen ist linear von der Temperatur abhängig:

$$\chi = \chi_0 (1 + \alpha t) \qquad \text{(III)}$$

wobei χ die Leitfähigkeit bei der Temperatur t °C, χ_0 die Leitfähigkeit bei 0 °C und α der lineare Temperaturkoeffizient ist. Für Milch wurde folgende Nährungsformel vorgeschlagen (6, 7, 29, 30):

$$\chi = \chi_0 (1 + at + \beta t^2) \qquad \text{(IV)}$$

wobei β dem quadratischen Temperaturkoeffizienten entspricht. Dieser ist sehr klein, was eine sehr schwache Krümmung der Kurve zur Folge hat (Abb. 2). Die Zunahme

der Leitfähigkeit mit der Temperatur beruht auf der erhöhten Dissoziation und Beweglichkeit der Elektrolyte und der Veminderung der Viskosität (28) der Milch. Nach *Pinkerton* und *Peters* (16) erhöht sich die Leitfähigkeit um 0,01 S m^{-1} pro °C.

Der lineare Temperaturkoeffizient α ist selbst eine Funktion der Temperatur und liegt in der Größenordnung von 0,025 pro °C (29). Für Büffelmilch sinkt α von 0,0309 pro °C bei 5 °C auf 0,0115 pro °C bei 70 °C (6) (Abb. 3). Im selben Temperaturbereich sinkt für Ziegenmilch α von 0,0319 pro °C auf 0,0116 pro °C (7).

Nach *Prentice* (15) verhält sich die fettfreie Fraktion der Milch praktisch wie ein homogener Leiter. Die Krankheit der Kühe soll keinen Einfluß auf den linearen Temperaturkoeffizienten haben (29) (Tabelle 3).

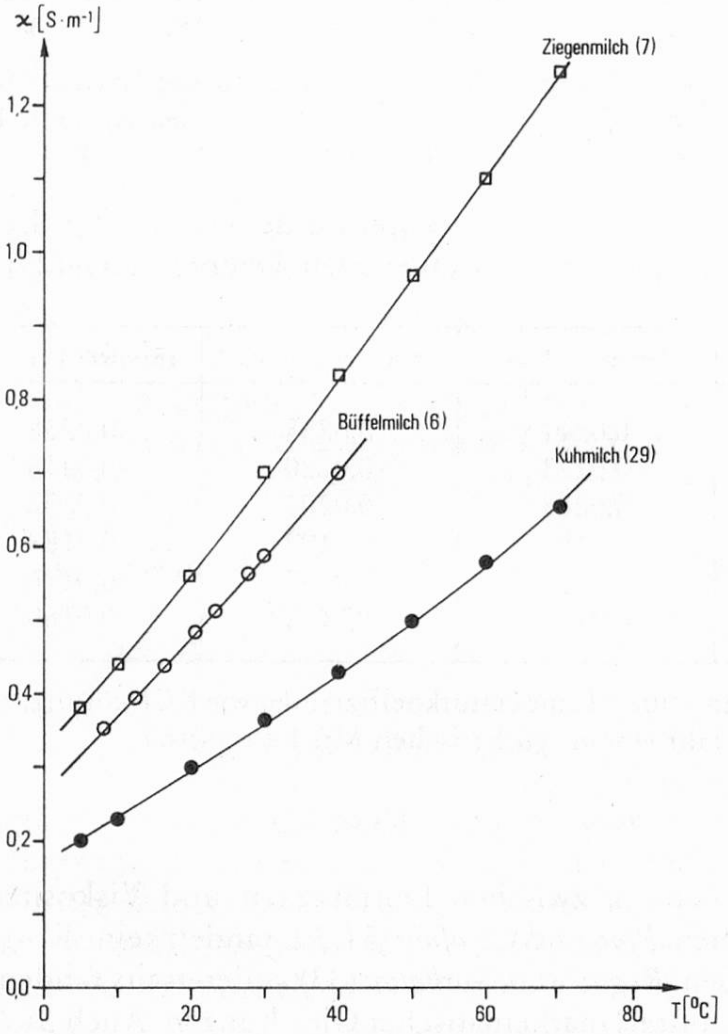

Abb. 2. Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit (χ) von Milch verschiedener Spezies

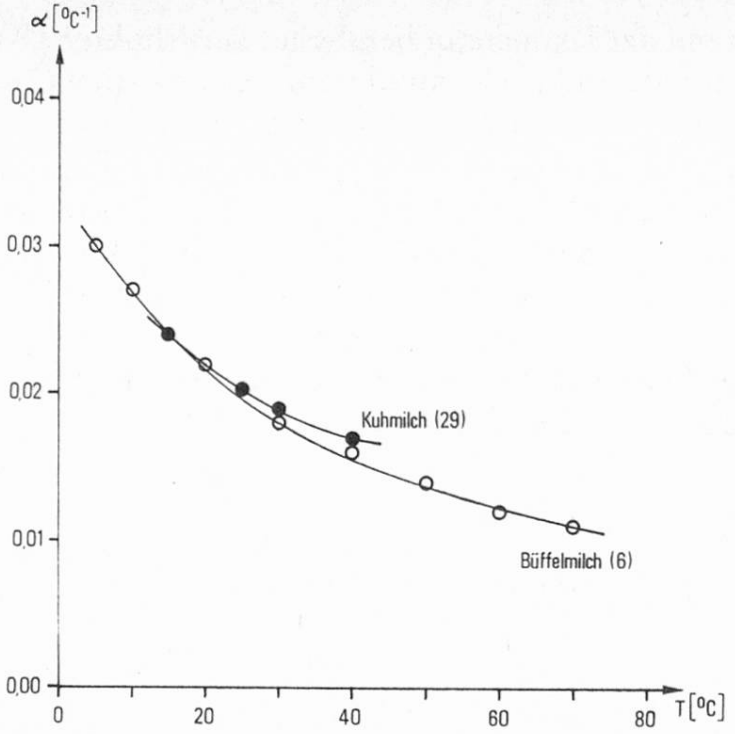

Abb. 3. Temperaturabhängigkeit des linearen Temperaturkoeffizienten (α) der elektrischen Leitfähigkeit von Kuh- und Büffelmilch (nach *Sharma* (6); siehe Formel (III))

Tabelle 3. Linearer Temperaturkoeffizient α der elektrischen Leitfähigkeit von Kuhmilch bei verschiedenen Temperaturen (29)

Temperatur °C	Normale Milch	Milch bei Mastitis	Roeder's Lösung[1]	0,1n-KCl
15	0,0241	0,0238	0,0238	0,0224
20	0,0223	0,0220	0,0218	0,0208
25	0,0208	0,0205	0,0202	0,0195
30	0,0195	0,0192	0,0188	0,0183
35	0,0183	0,0180	0,0176	0,0173
40	0,0173	0,0171	0,0166	0,0164

[1] Salzlösung mit demselben Temperaturkoeffizienten wie KCl-Lösung; entspricht in der Zusammensetzung ungefähr einem synthetischen Milchultrafiltrat.

Viskosität

Ueber die Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Viskosität findet man widersprüchliche Angaben. *Pino* und *Chiofalo* (31, 32) fanden keine Korrelation zwischen diesen zwei Meßgrößen. *Rogov* und *Gorbatov* (33) andererseits fanden eine Beziehung und beschrieben diese mittels mathematischer Gleichungen. Auch *Sudheendranath* et al. (18) fanden bei bestimmten Rassen eine Korrelation zwischen der Viskosität und der elektrischen Leitfähigkeit. Die Korrelation wurde allerdings erst bei höheren Meßfrequenzen signifikant (3 KHz), da die Meßfehler infolge Abnahme der Polarisierung bei höheren Frequenzen niedriger sind (18).

Milchbehandlungen

Die zwei häufigsten Milchbehandlungen, d. h. die Homogenisation (15) und die Kurzzeiterhitzung, haben keinen bedeutenden Einfluß auf die Leitfähigkeit der Milch. In eigenen Versuchen (86) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen rohen, pasteurisierten (72 °C und 92 °C) und ultrahocherhitzten (UHT-direkt und indirekt) Milchen festgestellt. Der Mittelwert über diese 5 Milcharten und die Dauer des Versuches von 13 Monaten betrug $0{,}451 \pm 0{,}009$ S m^{-1} bei 20 °C. Die Extremwerte der Mischmilch von Simmentalerkühen waren 0,478 und 0,425 S m^{-1} bei 20 °C (86).

Anwendungen

Fettbestimmung

Die Bestimmung des Fettgehalts mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit genügt den Ansprüchen der Milchindustrie nicht, weil die Korrelation zwischen diesen beiden Größen zu schwach ist (16, 22, 34). Der oben erwähnte Unterschied zwischen Kuh- und Büffelmilch wurde als Methode zum Nachweis der Verfälschung von Kuh- und Büffelmilch vorgeschlagen (36). Die Messungen nach der Zentrifugierung der Milch sind im allgemeinen genauer 37, 38). Im Vergleich zur Vollmilch korreliert der Elektrolytgehalt der «fettfreien» Fraktion der Milch besser mit der Leitfähigkeit (9, 15). Aus dem Verhältnis der Leitfähigkeit des Rahmes und der dazugehörigen Magermilch kann der Fettgehalt der Milch grob geschätzt werden (2, 3). In höheren Frequenzbereichen ist die Korrelation zwischen Fettgehalt und Leitfähigkeit besser (39—41). *Tyunilyaninen* et al. (39) beschreiben ein Analysengerät, das eine Fettbestimmung bis zu 3% mit einer absoluten Genauigkeit von 0,1—0,2% erlauben soll. *Budzko* et al. (73) berichten über Messungen im GHz-Bereich von Proben mit 0,1—12% Fett.

Eine Kombination der Leitfähigkeitswerte mit anderen physikalischen Meßgrößen wie Dichte, Viskosität und Oberflächenbespannung könnte eine Grundlage für die automatische Bestimmung des Milchfettes geben (42, 43).

Wassergehaltsbestimmung

Zwischen Leitfähigkeit und Wassergehalt besteht keine einfache Beziehung, so daß kleinere Wasserzusätze (bis ca. 20%) nicht direkt nachweisbar sind (10, 16, 36, 44—50; siehe auch Abb. 1). Werden jedoch Fett und Eiweiß beispielsweise mit einer Aceton-Ameisensäuremischung ausgefällt, so soll durch Leitfähigkeitsmessungen eine Bestimmung von 5—25% Wasserzusatz möglich sein (47, 48).

Der Hyperfrequenzbereich (>0,1 GHz) scheint für analytische Zwecke besser geeignet. *Tonshev* (51) gibt an, daß Unterschiede von 0,5% im Wassergehalt von Kondensmilch (Wassergehalt 50—65%) bei 9375 MHz noch bestimmbar seien.

Die Leitfähigkeitsmessung kann nach *Pal* (36) zur Erkennung des Wasserzusatzes zur fettreicheren Büffelmilch dienen. Gleichzeitige Fettgehalts- und Leitfähigkeitsbe-

stimmungen erlauben es, eine verwässerte Büffelmilch von einer Kuhmilch zu unterscheiden (siehe Tabelle 1 und (10)).

Trockenmaße und Aschengehalt

Die hier zur Diskussion stehenden Beziehungen sind komplementär zu denjenigen im vorangehenden Abschnitt. Die dort besprochenen Arbeiten können deshalb auch hier berücksichtigt werden.

Das Konzentrieren der Milch erhöht zunächst die Leitfähigkeit stark. Infolge einer Verschiebung der Dissoziationsgleichgewichte und der Löslichkeit der Salze in der Milch nimmt die Leitfähigkeit nicht linear mit der Trockenmasse zu. In Magermilch erreicht sie bei ca. 28% mit 0,78 S m^{-1} einen Maximalwert (28, 83) und sinkt bei weiterem Konzentrieren wieder ab (Abb. 4).

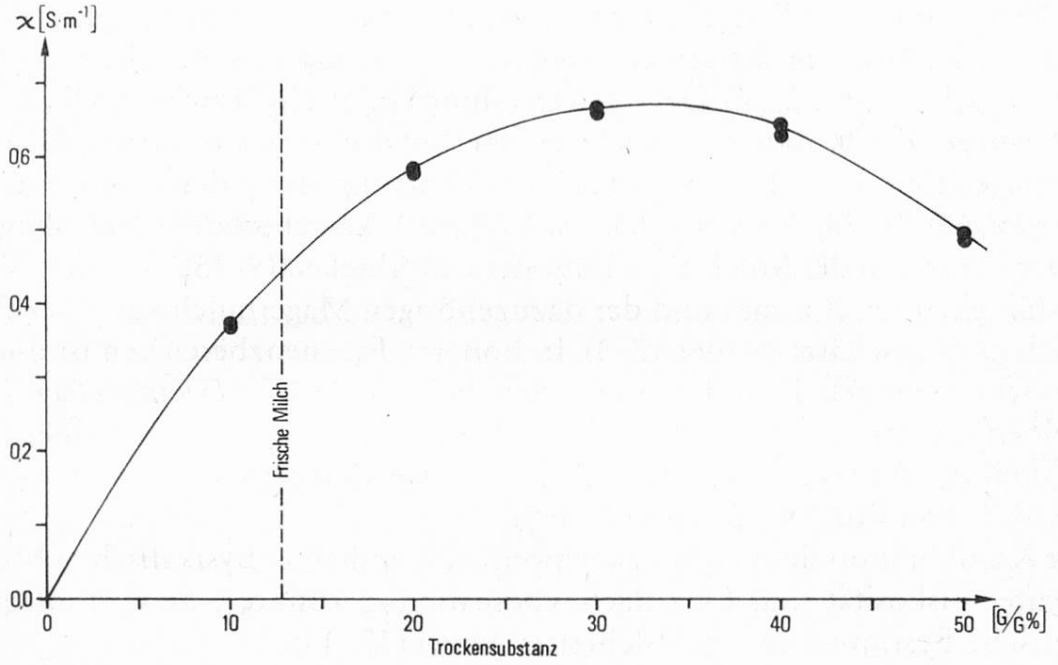

Abb. 4. Beziehung zwischen elektrischer Leitfähigkeit (χ) und Prozentgehalt an Trockensubstanz (TS) einer rekonstituierten Kuhmilch
(Eigene Werte, ermittelt durch Auflösen von Vollmilchpulver bei 60 °C in destilliertem Wasser. Meßtemperatur: 20 °C)

Dozet et al. (79) fanden eine sehr niedrige Korrelation zwischen Leitfähigkeit und Trockenmasse. Empirische Gleichungen erlauben die Berechnung von der Trockenmasse im Bereich 15—50% (80—82, 84). Statistische Analysen zeigten, daß die Proteine und Fette in der Trockenmasse den größten Beitrag zur Erklärung der Leitfähigkeitsunterschiede liefern (43), was eine kontinuierliche Kontrolle des Eindampfungsgrades von Kondensmilch erlaubt (49, 81—83).

Puri und *Parkasch* (11) fanden keine Korrelation zwischen Leitfähigkeit und Aschengehalt.

Proteinbestimmung

Die Rolle der Proteine als Störfaktor für die Beweglichkeit der echten Elektrolyte und deren Dissoziationsgleichgewichte wird von verschiedenen Autoren diskutiert (1, 16, 22, 31, 52). Die Leitfähigkeit der Molke und besonders der ultrafiltrierten Milch ist größer als diejenige der entrahmten Milch (35). Die Korrelation zwischen Leitfähigkeit und Proteingehalt ist schwach, so daß quantitative Proteinbestimmungen mittels Leitfähigkeitsmessungen nicht möglich sind. Aehnlich wie für die Fettbestimmung schlägt *Katz* (43, 53) vor, andere physikalische Parameter wie Dichte, Viskosität und Oberflächenbespannung mit zu berücksichtigen. Entsprechende mathematische Modelle könnten eine Grundlage für automatische, quantitative Proteinbestimmungen sein.

Mastitis

Die Beziehung zwischen Mastitis und Leitfähigkeit der Milch ist das weitaus häufigste Thema der Publikationen, die die Anwendung der elektrischen Leitfähigkeitsmessungen in der Milchwirtschaft zum Inhalt haben. Das Verhalten der osmotisch aktiven Substanzen in der Milch gesunder oder kranker Euter eröffnet die Möglichkeit, automatisierbare Eutergesundheits- und Milchqualitätskontrollsysteme auf der Basis solcher Messungen einzuführen (78). Ein Meßsystem kann in die Melkmaschine eingebaut werden und ermöglicht eine sofortige Kontrolle.

Die Leitfähigkeit der Milch, als Maß für die Eutergesundheit, korreliert gut mit anderen Kriterien wie Zellzahl (23, 56–62), NaCl-Gehalt (23, 57, 60, 63, 64) und Lactosegehalt (23, 65, 66).

Mälkki (55) vergleicht verschiedene Methoden für die Feststellung der Mastitis und kommt zu folgender Reihenfolge: Whiteside Test > Resorzinprobe > Leukozytennachweis > Katalaseprobe > elektrische Leitfähigkeit. Im Vergleich zur IR-Kontrollmethode nach *Ulbrich* (54) scheint die Leitfähigkeitsmethode einfacher und rascher zu sein.

Die Leitfähigkeit der Milch einzelner Euterviertel gesunder Kühe zeigt bei Änderungen einen parallelen Verlauf. Bei der kranken Kuh wird dieser parallele Verlauf merklich gestört (61), so daß eine empfindliche Beurteilung der Euterentzündung möglich wird. Mehrere Autoren (64, 67–70) brauchten mathematische Beziehungen zwischen der Leitfähigkeit der Milch einzelner Euterviertel, um den Gesundheitszustand der Kuh zu verfolgen.

Es existieren zahlreiche Methoden oder Apparate zur Erkennung nicht nur schwer kranker, sondern auch subklinisch mastitiskranker Kühe (57, 58, 71–72, 74–76). Es ist noch zu erwähnen, daß auch allgemeine Erkrankungen wie Fieber (1), die Anwesenheit fremder Körper im Pansensaft oder Fußentzündungen (77) Leifähigkeitserhöhungen verursachen.

Durch die Säuerung der Milch wird die Elektrolytkonzentration und damit auch die Leitfähigkeit erhöht (1, 31, 46, 60). Eine exakte Bestimmung des Säuregrades ist jedoch nicht möglich. *Ruge-Lenartowicz* (46) gibt eine Erhöhung der Leitfähigkeit von 0,01 S m^{-1} pro °SH (Soxhlet-Henkel Grad) an. Die «chloridfreie» Leitfähigkeit korreliert besser mit dem Säuregehalt der Milch (1).

Einfacher scheint der Nachweis einer «neutralisierten» Milch. Ein Zusatz an Neutralisationsmitteln in angesäuerter Milch erhöht zusätzlich die Leitfähigkeit, was im Endeffekt einen merklichen Unterschied zur normalen Milch ergibt (Abb. 5). Die Leitfähigkeitsmessung wurde deshalb verschiedentlich als Prüfungsmethode für den Nachweis neutralisierter Milch vorgeschlagen (10, 31, 37, 46, 60, 85).

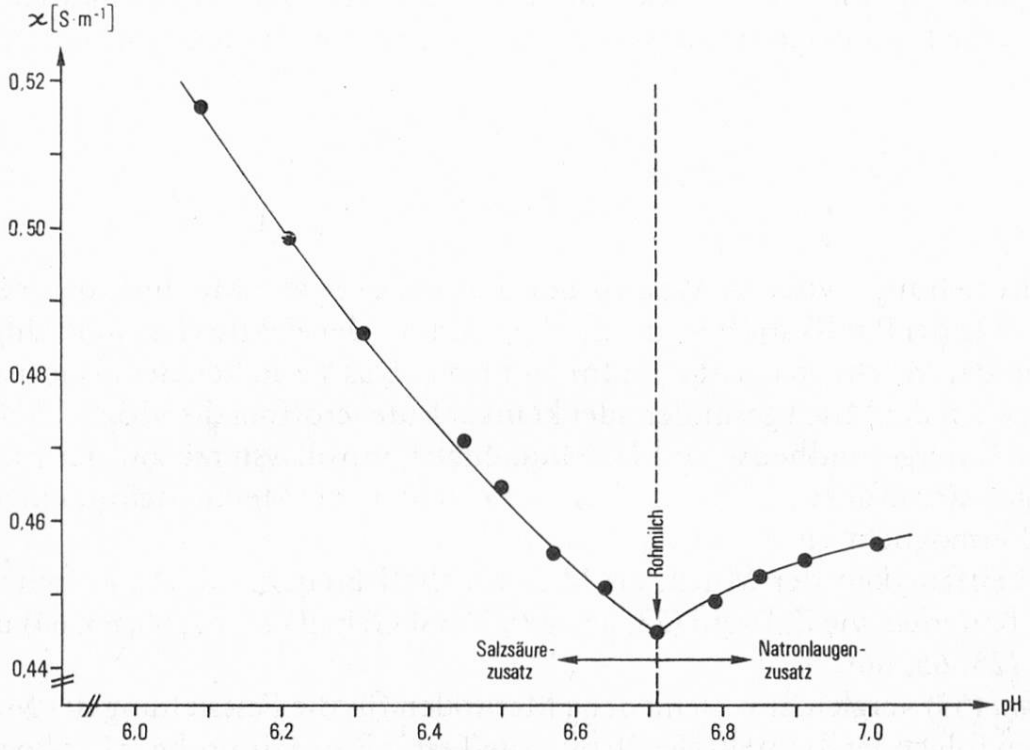

Abb. 5. Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit (χ) einer Kuhmilch vom Säure- und Laugezusatz
(Eigene Werte; ermittelt durch Zusatz konstanter Volumen HCl, NaOH oder Wasser (0,25 ml) zu Milch (40 ml) bei 20 °C nach 15 Stunden)

Schlußfolgerungen

Die elektrische Leitfähigkeit ist wie die meisten physiko-chemischen Merkmale der Milch eine zusammengesetzte Größe. Leitfähigkeitsmessungen allein können deshalb nur in beschränktem Maße Auskunft über die Zusammensetzung und den Zustand der Milch geben. Eindeutige Aussagen werden möglich, wenn Leitfähigkeitsmessungen zusammen mit anderen chemischen Analysen oder physiko-chemischen Messungen betrachtet werden.

Die Leitfähigkeitsmessung ist am ehesten zur Erkennung von Euterkrankheiten und zum Nachweis neutralisierter Milch geeignet. Neue Impulse für die Anwendung der Leitfähigkeitsmessungen sind zu erwarten, wenn der Frequenzbereich erweitert wird. Insbesondere im Hochfrequenzbereich dürfte die zerstörungs- und kontaktlose Messung weitere Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

Dank

Die Autoren danken Frl. *B. Martin* und Frl. *U. Moor* für die sorgfältig ausgeführten experimentellen Arbeiten und den anderen Mitarbeiterinnen der Forschungsanstalt, die zur Verwirklichung dieser Arbeit beigetragen haben.

Zusammenfassung

Der erste Teil dieser Arbeit behandelt den Einfluß verschiedener biologischer Faktoren wie Spezies, Rasse, Einzeltier, Klima, Jahreszeit, Fütterung, Laktationsphase, Alter und Gesundheit des Tieres auf die elektrische Leitfähigkeit der Milch. Im zweiten Teil wird die Rolle der wichtigsten Milchinhaltsstoffe für die Leitfähigkeit diskutiert. Der dritte Teil beschäftigt sich mit der Abhängigkeit der Leitfähigkeit von einigen physiko-chemischen Parametern wie Temperatur, pH-Wert, Viskosität usw. Der vierte Teil befaßt sich mit dem Einfluß der thermischen Behandlungen und Homogenisation. Der letzte Teil rezensiert die verschiedenen bisher bekannten Anwendungen der Leitfähigkeitsmessung in der Milchwirtschaft. Neben den 87 bibliographischen Referenzen enthält die Arbeit auch neue Leitfähigkeitsdaten aus eigenen Untersuchungen.

Résumé

La première partie du travail traite de l'influence de nombreux facteurs biologiques tels que espèce, race, individu, climat, saison, lieu, affouragement, période de lactation, âge et état de santé de l'animal sur la conductibilité électrique du lait. La deuxième étudie l'influence et les propriétés électriques des principaux composants du lait. La troisième considère l'influence de quelques paramètres physico-chimiques (pH, température et viscosité du milieu etc.). La quatrième considère l'influence des traitements thermiques et de l'homogénéisation. La dernière partie passe en revue les domaines d'application, notamment l'emploi des valeurs de la conductibilité pour le dépistage des mammites. Outre son caractère bibliographique (87 références), le travail donne encore, sous forme de tableaux ou de graphiques, de nombreuses valeurs et corrélations dont certaines encore inédites.

Summary

In the first part of this review the influence of various factors upon the electrical conductivity of milk is discussed (species, breed, individuum, climate, season, nutrition, stage of lactation, age and health). The second part considers the role of the major milk constituents upon the conductivity of milk and the third part the effect of some physico-chemical parameters such as temperature, pH, viscosity, etc. The fourth part considers the influence of heat treatments and homogenisation. The last part summarizes the most important applications in the dairy industry. Various tables and

graphs of published data (87 references) as well as new conductivity data from own investigations are included.

Literatur

1. *Schulz, M.E.:* Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit als Hilfsmittel des Chemikers bei der Milchanalyse. Kieler milchw. Forsch. Ber. **8**, 641–652 (1956).
2. *Scharner, E.* und *Borkert, H.:* Leitfähigkeitsmessungen und einige Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittelindustrie. Lebensmittel-Ind. **15**, 61–65, 102–103 (1968).
3. *Prentice, J.H.:* Evaluation of some coated titanium electrodes for measurement of conductivity of milk and milk products. J. Dairy Res. **44**, 615–619 (1977).
   Prentice, J.H.: Electrodes for measuring the conductivity of milk. XXth. Intern. Dairy Congress E, 432 (1978).
4. *Oehme, F.:* Angewandte Konductometrie. Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg 1961.
   Oehme, F. und *Bänninger, R.* ABC der Konduktometrie. Separatdruck der Chem. Rundschau, Vogt-Schild Verlag, CH-4501-Solothurn 1 (1979).
5. *Pungor, E.* Oscillometry and conductometry. Internat. Series of Monographs in Analytical Chemistry, Vol. 21. Pergamon Press, Oxford 1965.
6. *Sharma, G.S.* and *Roy, N.R.:* Influence of temperature on the electrical conductivity of buffalo milk. J. Dairy Res. **43**, 321–323 (1976).
7. *Sharma, G.S.* and *Roy, N.K.:* Electrical conductivity of milk from goats of the Beetal breed. J. Dairy Res. **44**, 345–346 (1977).
8. *Sharma, G.S.* and *Roy, N.K.:* Electrical conductivity of buffaloes' and goat's milk. XIX International Dairy Congress **1E**, 183 (1974).
9. *Roy, N.K., Nagpal, D.C., Sadana, T.D.* and *Sharma, G.S.:* Electrical conductance of milk from buffalo and cattle of Indian origin: I. Correlation with fat and S.N.F. Milchwissenschaft **27**, 634–637 (1972).
10. *Safinaz El-Shibiny* and *Abd El-Salam, M.H.:* Studies on the electrical conductivity of buffalo and cow milk. Milchwissenschaft **28**, 571–572 (1973).
11. *Puri, B.R.* and *Parkash, S.:* Studies in physiko-chemical properties of milk. XIII. Electrical conductivity of milk. Indian J. Dairy Sci. **16**, 47–50 (1963).
12. *Kermack, W.O.* and *Miller, R.A.:* The electrical conductivity and chloride content of women's milk. Part. I. Methods and practical application. Arch. Dis. Childh. **26**, 265–269 (1951). Dairy Sci. Abstr. **14**, 292 (1952).
13. *Whittlestone, W.G.:* The physical properties of sow's milk as a function of stage of lactation. J. Dairy Res. **19**, 330–334 (1952).
14. *Pal, R.M.:* Electrical conductivity of cow and buffalo milk. Indian J. Dairy Sci. **14**, 172–178 (1961). Dairy Sci. Abstr. **24**, 406 (1962).
15. *Prentice, J.H.:* The conductivity of milk – The effect of the volume and degree of dispersion of the fat. J. Dairy Res. **29**, 131–139 (1962).
16. *Pinkerton, F.* and *Peters, I.I.:* Conductivity, per cent lactose and freezing point of milk. J. Dairy Sci. **41**, 392 –397 (1958).
17. *Vishnevskaya, L.V.:* Use of electrical properties of milk in the development of milk meters. Vest. sel'skokhoz. Nauki, Mosk. **15**, (1), 122–124 (1970), Dairy Sci. Abstr. **32**, 446 (1970).
18. *Sudheendranath, C.S.* and *Bhimasena Rao, M.:* The relationship between relative viscosity and electrical conductivity of skim-milk. XVIII International Dairy Congress **1E**, 89 (1970).
19. *Pino, N.* and *Chiofalo, L.:* Recherches sur la conductibilité électrique du lait de chèvre. Lait **43**, 603–611 (1963).
20. *Pino, N.* and *Chiofalo, L.:* Electrical conductivity of ewe's milk. Zootec. e. Vita **7** (3), 7 pp. (1964). Dairy Sci. Abstr. **27**, 605 (1965).

21. *Tolle, A.:* Neue Wertmaßstäbe zur Beurteilung biochemischer Veränderungen der Rohmilch. Milchwissenschaft **24**, 457–465 (1969).
22. *Niemczycki, S.* et *Galecki, J.:* Conductibilité électrique spécifique du lait et nouveaux dispositifs pour sa détermination. Lait **18**, (180), 1009–1033 (1938).
23. *Pratt, M. C., Convey, E. M., Bickert, W. G.* and *Gerrisch, J B.:* Electronic detection of abnormal milk. J. Dairy Sci. **55**, 711–712 (1972).
24. *Petersen, F.:* Untersuchungen über den elektrischen Widerstand der Milch. Dissertation, Kiel 1904.
25. *Schulz, M. E.* und *Sydow, G.:* Die «chloridfreie» Leitfähigkeit von Milch und Milchprodukten. Milchwissenschaft **12**, 174–184 (1957).
26. *Porcher, C. H.:* La sécrétion lactée. Dans: Traité de physiologie normale et pathologique, p. 349. Masson et Cie, Paris 1927.
27. *Töpel, A.:* Chemie und Physik der Milch. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1976.
28. *Webb, B. H.* and *Johnson, A. H.:* Electrical conductivity. In: Fundamentals of dairy chemistry, pp. 367–368. The Avi Publishing company, Inc., Westport, Conn. 1965.
29. *Prentice, J. H.:* The temperature coefficient of electrolytic conductivity of milk. J. Dairy Res. **39**, 275–278 (1972)
30. *Vishnevskaya, L. V.* and *Magda, V. I.:* Temperature coefficient of electrical conductivity of milk. Zhivotnovodstvo, Mosk. **31** (1), 90–91 (1972). Dairy Sci. Abstr. **34**, 571 (1972).
31. *Pino, N.* and *Chiofalo, L.:* Modifications de la viscosité, de la tension superficielle et de la conductibilité électrique du lait à la suite du transport. Lait **43**, 1–22 (1963).
32. *Pino, N.* and *Chiofalo, L.:* Variations corrélatives des principales constantes physico-chimiques (viscosité, tension superficielle, conductibilité électrique) du lait du vache au cours de sa conservation. Lait **44**, 482–496 (1964).
33. *Rogov, I. A.* and *Gorbatov, A. V.:* Relationship between electrical conductivity and viscosity in milk. Izv. vyssh. ucheb. Zaved., Pishch. Tekhnol. **1967**, 114–117 (1967). Dairy Sci. **29**, 638 (1967).
34. *Pino, H.* and *Chiofalo, L.:* Recherches sur certains constituants et sur les principales constantes physico-chimiques du lait de bouquetin (Capra Ibex L.) Lait **46**, 619–620 (1966).
35. *Webb, B. H., Johnson, A. H.* and *Alford, J. A.:* Electrical conductivity in: Fundamentals of dairy chemistry, 2nd Edition, pp. 427–428. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Conn. 1974.
36. *Pal, R. N.:* Electrical conductivity to determine adulteration of milk. Indian J. Dairy Sci. **16** (2), 92–97 (1963). Dairy Sci. Abstr. **26**, 586 (1964).
37. *Armandola, P.* and *Brezzi, G.:* Combined use of electrical conductivity and pH for the rapid detection of preservatives in milk. Latte **37**, 759–764 (1964). Dairy Sci. Abstr. **27**, 37 (1965).
38. *Borodin, I. F., Preobrazhenskii, N. I.* and *Belyaev, N. V.:* Estimation of fat in milk. USSR patent 552555 (1977). Dairy Sci. Abstr. **39**, 764 (1977).
39. *Tyunilyaninen, M. I., Lyustrova, A. P., Gazimov, M. K., Tubaev, Yu. V.* and *Timofeev, V. V.:* Electronic device for butterfat estimation. Trud. Ural'skogo Politekhn. Inst. **1961** (114), 155–159 (1961). Dairy Sci. Abstr. **25**, 124 (1963).
40. *Budsko, V. A., Borodin, I. F.* and *Stolbov, V. I.:* Electrophysical parameters of milk and development of devices for controlling its quality. Vestnik Sel'skokhozyaistvennoi Nauki, Moscow No. 6, 91–99 (1974). Dairy Sci. Abstr. **37**, 162 (1975).
41. *Borodin, I. F., Stolbov, V. I.* and *Gorodetskaya, T. K.:* Electrical method of recording basic characteristics of the machine milking process. Zhivotnovodstvo No. 3, 83–85 (1974). Dairy Sci. Abstr. **36**, 341–342 (1974).
42. *Katz, B.:* Possibility of automatic control of milk fat content trough measurement of some physical indices. Khranit. Prom. **24** (3), 21–23 (1975). Dairy Sci. Abstr. **37**, 803 (1975).

43. *Katz, B.:* Mathematic modelling of the effect of milk composition on its electroconductivity as a parameter of automatic testing. Khranit. Prom. **24** (2), 32—34 (1975). Dairy Sci. **37**, 637 (1975).
44. *Janal, R.:* Untersuchungen der Milchqualität auf dem Hof mit Hilfe der Konduktanz. Zivocisna Vyroba **22**, 365—373 (1977).
45. *Miller, R. A.* and *Ellis, R. W. B.:* Tests for the alduteration of human milk. Arch. Dis. Childh. **28**, (139), 161—169 (1953). Dairy Sci. Abstr. **16**, 325 (1954).
46. *Ruge-Lenartowicz, R.:* The influence of acidity on the electrical conductivity of milk. Roczn. Zakl. Hig., Warsz. **5**, 91—102 (1954). Dairy Sci. Abstr. **17**, 613 (1955).
47. *Sethu Rao, D., Sudheendranath, C. S., Bhimasena Rao, M.* and *Anantakrishnan, C. P.:* Studies on the electrical conductivity of milk in non-aqueous mixed solvents. XVIII International Dairy Congress **1E**, 88 (1970).
48. *Rao, D. S., Sudheendranath, C. S., Rao, M. B., Anantakrishnan, C. P.:* Electrical conductivity of milk. IV International Congress of food science and technology **2**, 20—22 (1974).
49. *Wodecki, E., Eisele, M., Zander, L.* und *Zander, Z.:* Analyse der spezifischen Leitfähigkeit von gesüßter Milch während dem Eindickungsprozess. XIX International Dairy Congress **1D**, 340—341 (1974).
50. *Maurer, O.:* Conductivity measurement: An industrially reliable and highly sensitive analytical technique. CZ Chemie-Technik **2**,117—120 (1973). Dairy Sci. Abstr. **36**, 488 (1974).
51. *Tonshev, Yu. V.:* New method for measuring moisture content of liquid dairy products. Moloch. Prom. **31**, 19—21 (1970). Dairy Sci. Abstr. **32**, 668 (1970).
52. *D'Yachenko, P. F., Rogov, I. A., Rostrova, N. K., Volchkov, V. I., Yurut, I. A.* and *Kolesnik, V. S.:* Study into the interactions of milk proteins and salts according to the specific electrical conductivity. Izv. vyssh. Ucheb. Zaved., Pishch. Tekhnol. No. 4, 69—71 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 798, (1976).
53. *Kats, B.:* A mathematical model for determining milk protein content by a multi-parameter system of physical factors. Khranit. Prom. **24** (8/9), 21—23 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 345 (1976).
54. *Ulbrich, N.:* Electrical conductivity and lactose contents of milk: basis for automation of udder health care. Monatsh. Vet. Med. **30**, 415—419 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 273 (1976).
55. *Mälkki, Y.:* Detection of mastitis from milk. Valt. Maitolousk. Tiedon. **42**, 15 pp. (1954). Dairy Sci. Abstr. **17**, 856, (1955).
56. *Wolfe, R. R., Sharma, S. C.* and *Ward, G. E.:* A method for electronic detection of bovine mastitis. Trans. ASAE **15**, 500—503 (1972). Dairy Sci. Abstr. **35**, 94 (1973).
57. *Mukarovsky, L., Novak, A.* and *Kretschmer, F.:* Automatic mastitis detector. Veterinarstvi **25**, 436—438 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 697 (1976).
58. *Raid, H.:* Latent mastitis diagnosis by electrical conductivity of milk. Sb. nauch. Trud., estonsk. nauchno-issled. Inst. Zhivot. vet. **1967** (13), 48—53 (1967). Dairy Sci. Abstr. **30**, 120 (1968).
59. *Greatrix, G. R., Quayle, J. C.* and *Coombe, R. A.:* The detection of abnormal milk by electrical means. J. Dairy Res. **35**, 213—221 (1968).
60. *Renda, V., Rysanek, D.* and *Matouskova, O.:* Effect of some factors on the electrical conductivity of mixed milk. Vet. Med., Praha **20**, 463—469 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 547—548 (1976). *Janal, R.* and *Starostik, L.:* Study of milk samples using electrical conductivity. Veterinarstvi, **27**, 156—157 (1977). Dairy Sci. Abstr. **39**, 858 (1977).
61. *Linzell, J. L., Peaker, M.* and *Rowell, J. G.:* Electrical conductivity of foremilk for detecting subclinical mastitis in cows. J. agric. Sci. **82**, 309—325 (1974). Dairy Sci. Abstr. **37**, 417 (1975)
62. *Scharner, E.* und *Scharner, W.:* Impedazmessungen anormaler und pathologisch veränderter Milch. Monatsh. Vet. Med. **22**, 566—571 (1967).
63. *Dozet, N., Stanisic, M.* and *Bijeljac, S.:* Study of electrical conductivity and chloride content of milk. Mljekarstvo **27**, (3) 59—67 (1977). Dairy Sci. Abstr. **39**, 607 (1977).
64. *Linzell, J. L.* and *Peaker, M.:* Early detection of mastitis. Vet. Rec. **89**, 393—394 (1971). Dairy Sci. Abstr. **34**, 73 (1972).

65. *Sachse, M.* and *Schulz, J.:* Relationships between electrical conductivity and lactose content of cow's milk. Arch. exp. Vet. Med. **28**, 479—480 (1974). Dairy Sci. Abstr. **37**, 555 (1975).
66. *Trimarchi, G.:* Correlations between the principle soluble constituents of cow's milk and electrical conductivity. Agric. Ita. **14** (11), 8 (1959). Dairy Sci. Abstr. **24**, 211 (1962).
67. *Linzell, J. L.* and *Peaker, M.:* Efficacy of the measurement of the electrical conductivity of milk for the detection of subclinical mastitis in cows; detection of infected cows at a single visit, Br. Vet. Z. **131**, 447—461 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 781—782 (1976).
68. *Davis, J. G.:* The detection of sub-clinical mastitis by electrical conductivity measurements. Dairy Inds. int. **40**, 286—291 (1975).
69. *Oshima, M., Fuse, H.* and *Ishii, T.:* Interrelationships between the increase in concentration of sodium chloride of individual quarter milk and the accompanied changes in electrical conductivity, hydrogen ion concentration and California mastitis test score of the milk. Jap. Z. zootech. Sci. **45**, 644—651 (1974). Dairy Sci. Abstr. **37**, 795 (1975).
70. *Oshima, M., Fuse, H.* and *Ishii, T.:* On the compatibility of the electrical conductivity test with the California mastitis test in the detection of abnormal quarter milk. Jap. Z. zootech. Sci. **46**, 585—587 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 403 (1976).
71. *Coombe, R. A., Quayle, Z. C.* and *Greatrix, G. R.:* Electrical detection of mastitis in cows. British Pat. 1194329 (1970). Dairy Sci. Abstr. **32**, 576 (1970).
72. *Quayle, J. C.* and *Greatrix, G. R.:* Improvements in methods and apparatus for detection of mastitis in milk animals. British Pat. 1314327 (1973). Dairy Sci. Abstr. **35**, 544 (1973).
73. *Budzko, I. A., Borodin, I. F., Daki, N. V., Parsadanian, S. T.* and *Stolbov, V. I.:* Sposob opreoeleniia jrnosti moloka. USSR Pat. 6371276 (1974).
74. *Low, B.:* Mastitis detection while you milk? Dairy Fmr. Ipsurich **21**, 34—36 (1974). Dairy Sci. Abstr. **36**, 663 (1974).
75. *Crepin, J. C.:* Method and device for grading milk. French Pat. Appl. 2303286 (1976). Dairy Sci. Abstr. **39**, 609 (1977).
76. *Massie, K. H.* and *Chalton, G. A.:* Mastitis detector. British Pat. 1438281 (1976). Dairy Sci. Abstr. **39**, 185 (1977).
77. *Janal, R.,* and *Haushalterova, J.:* Assement of milk of cows suffering from foreign body and claw panaritium by determining its conductivity. Veterinarstvi **26**, 407—408 (1976). Dairy Sci. Abstr. **39**, 689—690 (1977).
78. *Mielke, H.:* Verhalten der osmotisch aktiven Substanzen in der Milch gesunder und kranker Kühe als biologische Grundlage automatisierbarer Eutergesundheits- und Milchqualitätskontrollsysteme bei der industriemäßigen Milchproduktion. Monatsh. Vet. Med. **30**, 334—338 (1975).
79. *Dozet, M., Stanisic, M.* and *Sumenic, S.:* Comparison of methods for determination of total solids in milk. Vth Yugoslav international symposium on modern milk production and dairy technology, Portoroz, Yugoslavia, 16—18 Apr. (1973). Ljubljana, Univerza. **1973,** 55—62. Dairy Sci. Abstr. **37**, 803 (1975).
80. *Wodecki, E., Eisele, M., Zander, L.* and *Zander, Z.:* Analysis of specific conductance of milk in the concentration process before drying. XIX International dairy congress **1E**, 308—309 (1974).
81. *Tonshev, Yu. V.:* Study of electrical conductivity of concentrated milk. Moloch. Prom. **29**, 14–17 (1968). Dairy Sci. Abstr. **30**, 475—476 (1968).
82. *Kats, B.:* Method for automatic determination of total solids in milk by measuring certain of its physical parameters. Khranit. Prom. **24**, 25—27 (1975). Dairy Sci. Abstr. **38**, 214 (1976).
83. *Sorokin, Yu.:* Automatic control of the concentration of milk. Mol. Prom. **16**, 38—39 (1955). Dairy Sci. Abstr. **17**, 741 (1955).
84. *Oshima, M.* and *Fuse, H.:* Inverse relationship between electrical conductivity and organic milk solids content in normal milk. Jap. J. Zootech. Sci. **48**, 210—214 (1977). Dairy Sci. Abstr. **39**, 858 (1977).

85. *Vorisek, J.* and *Sovova, A.:* Quantitative estimation of alkaline substances in milk by conductivity measurements. Prumysl. Potravin. **11**, 39—43 (1960). Dairy Sci. Abstr. **22**, 536 (1969).
86. *Blanc, B.:* Einfluß der thermischen Behandlung auf die wichtigsten Milchinhaltsstoffe und auf den ernährungsphysiologischen Wert der Milch. Alimenta Sonderausgabe 1980, 5—25 (1980).

Dr. M. Rüegg
Dr. J.-O. Bosset
E. Pop
Prof. Dr. B. Blanc
Eidg. Forschungsanstalt
für Milchwirtschaft
CH-3097 Liebefeld-Bern