

Electric conductivity of meat as an objective substance characteristic for process control

Prof. Dr. SIELAFF and Dr.-Ing. K.H. HÖFT

Humboldt-Universität zu Berlin, German Democratic Republic

The paper describes investigations dealing with the relationship between heat-induced variations of meat as a raw material and its electric conductivity. The measurements for determining the electric conductivity were carried out using a special electrode in the low-frequency range. Moreover a modified "fish tester" was used, by means of which it was possible to determine the ratio of two resistances measured at different frequencies (resistance-quotient measurement).

As a result, it can be concluded that the measuring techniques are suitable for determining the conductance variation during the thermal treatment at temperatures ranging from 20 to 60 °C, but not for characterizing the final done condition.

On the other hand there are possibilities to achieve this by means of the measurements of the resistance quotient.

Determinations of admixture levels (fat, common-salt, and water content) can be carried out by measuring the electric conductivity.

Die elektrische Leitfähigkeit von Fleisch als objektive Stoffkenngröße für die Prozeßkontrolle

Prof. Dr. H. SIELAFF und Dr.-Ing. K.H. HÖFT

Humboldt-Universität zu Berlin, Deutsche Demokratische Republik

Die Untersuchungen befassen sich mit dem Zusammenhang zwischen Veränderungen des Rohstoffs Fleisch infolge Wärmewirkung und der elektrischen Leitfähigkeit. Die Messungen zur Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit wurden mit einer Spezialelektrode im Niederfrequenzbereich durchgeführt. Ferner wurde ein modifizierter "Fish-Tester" eingesetzt, mit dessen Hilfe das Verhältnis von zwei bei verschiedenen Frequenzen gemessenen Widerständen (Widerstandsquotientenmessung) erfaßt werden konnte.

Als Resultat läßt sich die Aussage treffen, daß die Meßverfahren zur Ermittlung der Leitwertänderung während der thermischen Behandlung bei Temperaturen zwischen 20 und 60 °C geeignet sind, nicht aber zur Charakterisierung des Garendzustandes.

Hingegen bieten sich hierfür Möglichkeiten über die Messungen des Widerstandsquotienten an. Bestimmungen von Zusätzen (Fett, Kochsalz und Wasser) zu einer gegebenen Rohstoffzusammensetzung sind mit Hilfe der Messung der elektrischen Leitfähigkeit möglich.

5.4

La conductibilité électrique de la viande, caractéristique objective de matière pour le contrôle des processus

Prof. Dr. SIELAFF et Dr. ing. K.H. HÖFT

Humboldt-Universität zu Berlin, RDA

Les études portent sur les rapports existant entre les modifications de la matière viande dues à l'effet thermique et la conductibilité électrique. Les mesures pour déterminer la conductibilité électrique ont été réalisées au moyen d'une électrode spéciale et dans la plage des basses fréquences.

De plus, un "fish-tester" modifié a été utilisé qui a permis d'établir le rapport existant entre deux résistances mesurées à deux fréquences différentes (mesure du quotient de la résistance).

En concluant on peut dire que les méthodes de mesure conviennent à déterminer la modification survenue à la conductance lors du traitement thermique à des températures comprises entre 20 et 60 °C mais qu'elles ne conviennent pas pour caractériser l'état final du milieu.

Par contre, les mesures du quotient de la résistance en constituent une possibilité.

La mesure de la conductibilité électrique permet de déterminer l'addition d'adjuvants (teneur en matières grasses, sel et eau).

Электропроводимость мяса как объективный вещественный показатель для контроля за процессом

Проф. д-р Х.ЗИЛАФФ и д-р техн.наук К.Х.ХЕФТ

Гумбольдт Университет Берлин, Германская Демократическая Республика

Исследования рассматривают взаимосвязь между изменениями сырья-мяса под влиянием тепла и электропроводимостью. Измерения для определения электропроводимости проводились с помощью специального электрода в диапазоне низких частот. Далее, был применен модифицированный "тестер фиша", с помощью которого устанавливалось соотношение между двумя сопротивлениями, измеренными при различных частотах (логометрическое измерение сопротивления).

В результате можно сделать вывод, что методы измерения пригодны для определения изменения значений электро-проводимости при термической ^{обработке при} температурах порядка 20 - 60 °C, но они не подходят для характеристики окончательного состояния готового мяса.

В противоположность этому здесь можно воспользоваться измерениями отношения величин сопротивления. С помощью измерения электропроводимости можно определить примеси добавляемых веществ (содержание жира, поваренной соли и воды).

Die elektrische Leitfähigkeit von Fleisch als objektive Stoffkenngröße für die Prozeßkontrolle

Prof. Dr. H. SIELAFF und Dr.-Ing. K.H. HÜFT

Humboldt-Universität zu Berlin, DDR

Einleitung

Der in- und ausländischen Fachliteratur waren Hinweise zu entnehmen, wonach elektrische Meßverfahren, insbesondere Leitfähigkeits- und Widerstandsmessungen für die Beurteilung von Gewebezuständen herangezogen werden können (1,2,3,4,5). Die elektrischen Eigenschaften des Fleisches zeigen Analogien zu den Leitern II. Klasse (7).

Die elektrischen Untersuchungen an tierischem Gewebe setzen den Aufbau eines elektrischen Stromkreises voraus. Das Gewebe stellt dabei ein passives elektrisches Element dar. Das heißt, es wird von einem Meßstrom durchflossen. Somit wirkt das Gewebe als Widerstand, der von der geometrischen Gestalt, von der Lage der Meßpunkte, von der Temperatur und vom strukturellen Aufbau des Meßobjektes beeinflusst wird. Im Gewebe erfolgt die Stromleitung im komplexen Zusammenwirken verschiedener Elektrolyte und semipermeabler Membranen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Daraus läßt sich ableiten, daß der Gewebewiderstand im wesentlichen von drei Faktoren beeinflusst wird:

1. Widerstand der Interzellularflüssigkeit
2. Widerstand des Zellinhaltes
3. Widerstand der Zellmembranen.

Diese strukturell bedingten Gewebewiderstände verursachen das Impedanzverhalten biologischer Systeme im Wechselstromkreis. Der Wechselstromwiderstand (\mathcal{R}) oder die Impedanz setzt sich aus dem Ohm'schen Widerstand (R) und dem kapazitiven Widerstand (R_0) zusammen. Der induktive Widerstand spielt bei biologischem Material keine Rolle und kann deshalb vernachlässigt werden.

$$\mathcal{R} = R + R_0 ; \quad R_0 = \frac{1}{j\omega C} .$$

Hierbei sind $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$ = Kreisfrequenz und C = Kapazität.

Unsere Arbeit geht von der Zielstellung aus, die Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit des Fleisches im technologischen Prozeß der Verarbeitung, insbesondere während der thermischen Behandlung, zu ermitteln. Es soll auch eine Aussage dazu getroffen werden, ob die Bestimmung von Zusatzstoffen zum Fleisch über die elektrische Leitfähigkeit erfolgen kann.

Material und Methodik

Für die experimentellen Untersuchungen wurde 3 bis 5 Tage altes Fleisch vom Rind (Roastbeef und Kamm) und Schwein (Kotelett und Kamm) verwendet. Das Untersuchungsmaterial wies annähernd gleiche Ausgangsbedingungen bezüglich Zusammensetzung und Alter der Proben auf. Die Lagerung des Rohstoffes erfolgte bei $+4^\circ\text{C}$. Vor der Verarbeitung wurden die aufgelagerten Fett- und Bindegewebeanteile entfernt. Es wurden Fleischwürfel mit einer Kantenlänge von ca. 50 mm und einer Masse von ca. 100 g für die Untersuchung vorbereitet. Darüber hinaus wurde auch feinzerkleinertes Material (Brät) verwendet. Die Wärmebehandlung erfolgte im siedenden Wasserbad.

Für die Feststellung der Rohstoffveränderungen infolge Wärmeeinwirkung wurden die von Tilgner ermittelten Beziehungen zwischen Garezustand und Kerntemperatur herangezogen. Kerntemperaturen um 75°C entsprechen dabei dem vollgaren Zustand (6). Zur Ermittlung der elektrischen Parameter wurde die Betragsmessung im Niederfrequenzbereich ausgewählt. Zur Bestimmung des elektrischen Leitwertes G stand ein Konduktometer Typ KM 2 zur Verfügung. Der Meßbereich des Gerätes lag zwischen $1 \dots 10^6 \mu\text{S}$. Es wurden Messungen bei 50 Hz und 8 kHz durchgeführt. Da die Ergebnisse in der Tendenz denen bei 50 Hz gleichen, werden im folgen-

den nur die Messungen des niederen Frequenzbereiches wiedergegeben. Für die praktischen Untersuchungen war es erforderlich, die handelsübliche Elektrode für den speziellen Einsatzzweck zu modifizieren. Es mußte eine Spezialelektrode für Niederfrequenzmessungen im Fleisch entwickelt werden.

Bild 1 zeigt den speziellen Aufbau der Elektrode.

Bei der Konstruktion der Meßelektrode wurde die bekannte Erscheinung berücksichtigt, daß der Gewebeleitwert von der Meßrichtung abhängig ist. Aus diesem Grunde wurde eine kreisförmige Elektrodenanordnung gewählt. Die Mittelelektrode wird von drei Gegenelektroden umgeben, die in einem Winkel von 120° voneinander angeordnet sind. Die Gegenelektroden sind leitend miteinander verbunden und bilden den Gegenpol zur Mittelelektrode. Zur Temperaturermittlung und -überwachung wurde im Bereich der Mittelelektrode sowie der Außenelektroden jeweils ein Mikrothermoelement eingebaut. Dadurch war es möglich, die Temperaturverteilung im Untersuchungsobjekt ständig zu beobachten. Mit dieser konstruktiven Lösung konnten die Anforderungen der komplexen Stromleitung sowie der Messung der Wärmeverteilung im Fleisch hinreichend erfüllt werden.

Auf Grund des Impedanzverhaltens von Gewebe erschien auch die Ermittlung der Widerstandsquotienten Q als zweckmäßig.

Die Feststellung des Widerstandsquotienten erfolgte mittels des Intelectron Fish-Tester V. Mit dem Gerät wird das Verhältnis von zwei bei verschiedenen Frequenzen (1 kHz und 16 kHz) gemessenen Widerständen ermittelt. Es ergeben sich Widerstandsquotienten, die unabhängig von äußeren Einflußfaktoren sind. Die frequenzabhängigen Spannungsabfälle werden nach einer Kombination in einem Quotientenbildner zur Anzeige gebracht. Der zahlenmäßige Ausdruck der Widerstandsdifferenz ist der Q -Wert, der direkt vom Gerät abgelesen werden kann. Der Q -Wert stellt keinen absoluten Betrag, sondern eine Verhältniszahl dar. Auf Grund dieser Beziehung muß der Q -Wert unter gleichen Bedingungen annähernd unabhängig von der Temperatur sein. Als Meßelektroden dienen Preßgraphitstäbe, zwischen die das Meßobjekt während des Meßvorganges geklemmt wurde. Durch diese Elektrodenanordnung wird das Gewebe nicht zerstört.

Zur Charakterisierung des Rohstoffes und deren Veränderungen wurden übliche chemisch-analytische Meßmethoden angewandt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Leitfähigkeitsverhalten des Fleisches bei Temperaturänderung zeigt einige Besonderheiten. In Bild 2 werden die Werte der Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur bei der Meßfrequenz von 50 Hz wiedergegeben.

Aus den Ergebnissen läßt sich ableiten, daß vergleichbare Untersuchungsmaterialien analoges elektrisches Verhalten zeigen. Das trifft für die Fleischteile Kotelett, Roastbeef, Schweine- und Rinderkamm zu. Augenfällig ist die Leitwertabnahme in Abhängigkeit vom Rohstoff Schweinekamm < Rinderkamm < Kotelett < Roastbeef. Durch den thermischen Prozeß werden die Differenzen zwischen den Leitwerten der Fleischarten größer, die aufgezeigte Reihenfolge bleibt jedoch erhalten. Für feinerzkleinerte brätartige Fleischmassen ist die Besonderheit zu beobachten, daß im unteren Temperaturbereich die Beträge der Leitwertänderung über und im oberen Temperaturbereich unter den Werten für unzerkleinerte Proben liegen. Die Veränderungen der elektrischen Parameter lassen sich in drei charakteristische Stufen einteilen.

- | | |
|----------|--------------|
| 1. Stufe | 20 - 40 °C |
| 2. Stufe | > 40 - 60 °C |
| 3. Stufe | > 60 °C |

Während sich in der ersten Stufe eine lineare Abhängigkeit einstellt, bewirken Kerntemperaturen über 40°C eine sprunghafte Leitwertzunahme, die durch das Freisetzen von Ionen bedingt sein dürfte. Im Temperaturbereich 50 bis 55°C wird dieses Verhalten unterbrochen. Kerntemperaturen über 60°C verursachen nur noch geringfügige Leitwertänderungen. Vergleicht man die Leitwertänderung des Fleisches mit der Standardgeraden für Leiter II. Ord-

nung wird deutlich, daß Fleisch in Abhängigkeit von der Temperatur sowohl ein positiver als auch ein negativer Leiter ist.

Auf Grund der gesteigerten Wärmebewegung der Inhaltsstoffe macht sich die negative Leitwertänderung erst bei einer Kerntemperatur von 80 °C und einer Haltezeit von zwei Minuten bemerkbar.

Die aufgezeigten elektrischen Eigenschaften des Fleisches stehen in engem Zusammenhang mit den Gewebestrukturveränderungen und den damit verbundenen Erscheinungen. Bild 3 gibt den Einfluß des Garens auf den Ionen- und Fettgehalt des Fleisches wieder. Infolge Denaturierung der Eiweißstoffe werden besonders im Temperaturbereich 40 bis 60 °C verstärkt Elektrolyten abgegeben. Das drückt sich demzufolge auch in einer sprunghaften Leitwertänderung aus. Bei Temperaturen über 60 °C ist eine Abnahme der Elektrolyten zu beobachten, wodurch das abnorme Leitwertverhalten des Fleisches gedeutet werden kann. Ursächlich hängen damit die Garverluste zusammen. Die Garverluste gehen also einher mit den Leitwertänderungen, die durch den verstärkten Austritt von Wasser und Elektrolyten hervorgerufen werden.

Bild 4 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Garverlusten und Leitwertänderung. Geprüft wurden die Garverfahren: Garen im eigenen Saft, Garen unter Saftabfluß, im Wasser- und im Fettbad.

Unterschiedliche Garverfahren haben auf die Tendenz der Leitwertänderungen keinen Einfluß. Unterschiede lassen sich nur in den absoluten Beträgen erkennen. Interessant ist die Erscheinung, daß sich über 60 °C unabhängig vom Ausgangszustand rohstoffspezifische Endleitwerte einstellen.

Im Vergleich zu den Leitwertänderungen zeigen die mit dem Fish-Tester gemessenen Widerstandsquotienten ein völlig anderes Verhalten (vergleiche Bild 5). Die negative Widerstandsquotientenänderung erfolgt stufenlos. Bei Kerntemperaturen von 70 bis 80 °C wird unabhängig vom Rohstoff ein Endwert erreicht. Unterschiedliche Fettgehalte beeinflussen nur in geringem Maße die Q-Wertänderung bei Kerntemperaturen über 20 °C.

Analysiert man die dargestellten Ergebnisse hinsichtlich ihrer Eignung als objektives Qualitätsparameter für den Garezustand, so lassen sich für die Leitwerte keine signifikanten Korrelationen ableiten. Die Widerstandsquotienten bieten jedoch dafür bessere Voraussetzungen. Im Bereich der Vollgare ist deren Änderung gleich Null.

Im technologischen Prozeß der Fleischverarbeitung werden auf der Grundlage auserwählter Rezepturen die elektrischen Parameter erheblich beeinflusst, so daß in Abhängigkeit von der elektrischen Wirksamkeit des Zusatzstoffes die Gesamtleitfähigkeit verändert wird. Als Zusatzstoffe fungieren hauptsächlich Fett, Wasser und Kochsalz. Bezüglich des Einflusses der Zusatzstoffe auf die Leitwertänderung der frischen Proben sowie der erhitzten Proben wurden die in Bild 6 zusammengefaßten Ergebnisse erzielt.

Die Leitwertänderungen im Fleischbrät sind von den elektrischen Eigenschaften der Zusatzstoffe abhängig. Es ist die bekannte Erscheinung zu beobachten, daß sich die Leitfähigkeit durch Kochsalzzugaben positiv und durch Fettzugaben negativ verändert. Durch Fremdwasserzusätze bis zu 20 % wird der elektrische Stromfluß unwesentlich beeinträchtigt, so daß dieser Effekt vernachlässigt werden kann. Ursächlich hängt damit das Wasserbindungsvermögen zusammen. Es ergibt sich daraus, daß die elektrischen Parameter im wesentlichen durch den Elektrolytgehalt und den Fettgehalt beeinflusst werden. Bildet man die Differenz aus den Leitwerten mit Fettzusatz und den Leitwerten mit NaCl-Zusatz, so ergibt sich eine durchschnittliche negative Leitwertänderung von $1,5 \text{ Ohm}^{-1}$. Durch Untersuchungen mit den unterschiedlichsten Rezepturvarianten für Salz-, Fett- und Fremdwasserzusätze konnte dieser rechnerische Wert bestätigt werden.

Die Ergebnisse lassen auch erkennen, daß die elektrische Wirksamkeit von Kochsalz im Gewebe im Verhältnis zu einer NaCl-Lösung um ca. 50 % geringer ist. Diese Erscheinung ergibt sich aus der Fähigkeit der Eiweiße, Kationen und Anionen zu binden.

Während der thermischen Behandlung wird die elektrische Leitfähigkeit neben den bekannten Erscheinungen durch den NaCl-, Wasser- bzw. Fettgehalt beeinflusst. Es ist zu beobachten, daß

durch den Prozeß der Wärmebehandlung die ermittelte Leitwerterniedrigung in Abhängigkeit vom Fettgehalt erhalten bleibt. Eine Erhöhung des Fettgehaltes um 20 % bewirkt demzufolge im Brät einen um $4 \times 10^{-2} \text{ Ohm}^{-1}$ niedrigeren Leitwert (s. Bild 7a). Wasserzusätze beeinflussen die Leitwertänderung negativ, d.h. mit zunehmendem Wassergehalt wird die Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur geringer. Während im 1. Temperaturbereich die Leitwertänderungen in Abhängigkeit von der Kerntemperatur und den Wasserzusätzen nicht so stark voneinander abweichen, sind bei 50 °C und insbesondere bei Temperaturen $> 60 \text{ °C}$ deutliche Unterschiede zu erkennen. Hohe Wasserzusätze korrelieren dabei mit den niedrigsten Leitwertänderungen. Auffallend ist auch die Verlagerung der sprunghaften Leitwertzunahme bei Wasserzusätzen im Temperaturbereich von 40 °C auf 45 °C (s. Bild 7b). Im Gegensatz dazu nähert sich die Zunahme der Leitwerte im Temperaturbereich 40 bis 60 °C bei unterschiedlicher NaCl-Konzentration dem Verhalten von wässrigen Lösungen. Im Temperaturbereich zwischen 50 °C und 55 °C macht sich eine verzögerte Leitwertänderung bemerkbar (s. Bild 8).

Werden sämtliche Zusatzstoffe mit dem Rohstoff vermischt, so wird für die Leitwertänderung bis zu 45 °C vorwiegend der Fettanteil und von 45 °C bis 60 °C der Kochsalzanteil der dominierende Einflußfaktor (Bild 9).

Ursächlich hängt damit das thermische Verhalten des Fettes zusammen. Bedingt durch die Schmelztemperatur ist der Fettanteil in den Masseverlusten bei Temperaturen über 45 °C relativ groß, wodurch sich der Widerstand des "Lösungsmittels" für die Elektrolyten im Fleisch vermindert. Die Gesamtmasseverluste sind auf Grund der Salzwirkung um ca. 50 % niedriger als die Normalverluste.

Auffallend ist auch der nach 70 °C verschobene Beginn einer Stagnation der Leitwertänderung. Der erhöhte Elektrolytgehalt bewirkt wahrscheinlich dieses Verhalten. (In allen Versuchsreihen wurden bei 70 °C Leitwerte ohne Fettzusatz ermittelt.)

Die Widerstandsquotienten werden durch die angegebenen Zusätze nur geringfügig beeinflusst. Dieses Verhalten hängt ursächlich mit dem Meßprinzip zusammen. Veränderungen der Widerstandsquotienten werden nur durch die Zerkleinerung des Fleisches hervorgerufen. Infolge Abbau des kapazitiven Widerstandes (R_c) macht sich eine zunehmende Stromverstärkung bemerkbar. Die Unterschiede der frequenzabhängigen Widerstände werden geringer, so daß die Änderungen des Quotienten kleiner werden. Auf Grund dieser Einflußfaktoren ist der Grad der Widerstandsquotientenänderung von zerkleinerten Materialien gegenüber unzerkleinerten bedeutend geringer. Übereinstimmend ist der Endpunkt bei Temperaturen über 70 °C erreicht.

Neben diesen Untersuchungen wurden auch die elektrischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Alter und vom Wasserbindungsvermögen des Fleisches näher betrachtet. Es ergaben sich signifikante Korrelationen. Auf die Ergebnisse wird an anderer Stelle eingegangen werden.

Literatur:

1. FEDOROW, N.E., IWANOWA, N.M., ROGOW, I.A., GORBATOW, A.W.: Thesen der Konferenz "Neue physikalische Methoden zur Behandlung von Lebensmitteln", Moskau 1967, 130-132
2. ROGOW, I.A., GORBATOW, A.M.: Moskau 1965 und Informationen der höheren Lehranstalten für Lebensmitteltechnologie Moskau, Nr. 3 (1967) 114-117
3. SCHARNER, E., BORKERT, H.: Die Lebensmittelind. 15(1968)2, 61-65
4. FOURCADE, G., DESCOTES, I.: TRIANGLE 13(1974)4, 173-184
5. WERSCHING, S.: Die Fleischwirtschaft 16(1964), 433-434
6. TILGNER, D.J.: Die Technologie der Garverfahren, Frankfurt/M. 1974
7. BEIER, W.: Biophysik, Leipzig 1968

Bild 1: Aufbau der Fleishelektrode

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1 - Schutzgehäuse | 5 - Deckplatte |
| 2 - Mittelelektrode | 6 - Bodenplatte |
| 3 - Außenelektroden | 7 - Mikrothermoelemente |
| 4 - Isolierung | |

Bild 2: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur (Garen im Wasserbad)
Meßfrequenz: 50 Hz

Bild 3: Einfluß des Garens auf den Ionen- und Fettgehalt des Fleisches (Kotelett, Garen im Wasserbad)

Leitwertänderung (50 Hz) ————— Fettgehalt ————— NaCl-Gehalt - - -
PO₄-Gehalt — . — Ca+Mg-Gehalt —————

Bild 4: Zusammenhang zwischen Garverlusten und Leitwertänderung für zwei Garverfahren (Kotelett, Meßfrequenz: 50 Hz)

Garen im Wasserbad ————— Garen im Fettbad - - - -

Bild 5: Abhängigkeit des Q-Wertes von der Kerntemperatur des Fleisches (Kotelett) beim Garen im Wasser

vollständiges Probenstück —————
Probenstück aus der Kernzone - - - -
rechnerisch ermittelt aus den Leitwerten — . —

Bild 6: Leitwertänderung von Schweinefleisch in Abhängigkeit vom Fett-, Kochsalz- und Fremdwasserzusatz

NaCl-Lösung ————— NaCl im Fleisch - - - -
Wasser — . — Fett —————

Bild 7: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur im Schweinefleischbrät mit unterschiedlichen Fett- (a) und Wasserzusätzen (b)
(Meßfrequenz: 50 Hz)

Bild 8: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur im Schweinefleischbrät bei unterschiedlichen Kochsalzzusätzen
(Meßfrequenz: 50 Hz)

Bild 9: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur im Schweinefleischbrät mit 20 % Fett-, 20 % Wasser- und 3 % Kochsalzzusatz
(Meßfrequenz: 50 Hz)

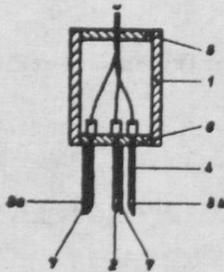


Abb. 14: Aufbau des Wärmeleitmeßsondes

- 1. Meßsonde
- 2. Thermoelement
- 3. Heizdraht
- 4. Schutzrohr
- 5. Meßkörper

Die Abb. 14 ist zu verstehen, daß die meßführenden Elektroden (2) von zwei Gegenläufigen (3 a, 3 b, 3 c)

Abb. 15: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur (Sagen im Wasserbad)

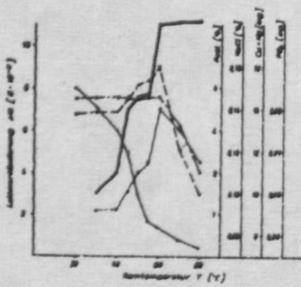
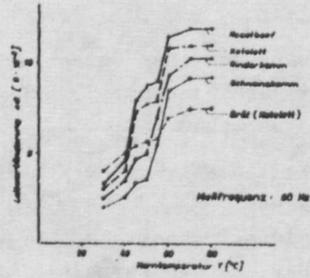


Abb. 17: Verlauf des Wärmeleitwertes von Keramiken, Kunststoffen, Glas, Holz, Eisen (Sagen im Wasserbad)

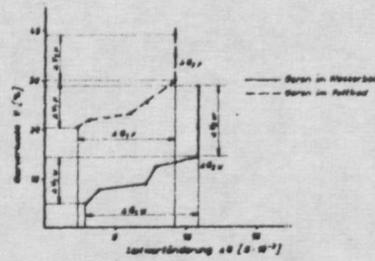


Abb. 18: Zusammenhang zwischen Wärmeleitwert und Leitwertänderung für zwei Sagenverfahren (Keramik, Meßfrequenz: 50 Hz)

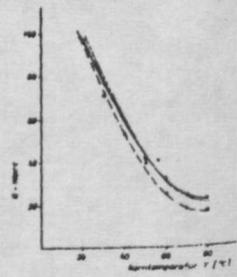


Abb. 19: Abhängigkeit des q-Wertes von der Kerntemperatur von Keramiken (Keramik) beim Sagen in Wasser

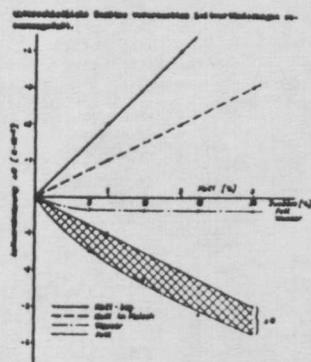


Bild 6: Leitwertänderung von Schweinefleischbrät in Abhängigkeit von Salz-, Natrium- und Phosphorkonzentration

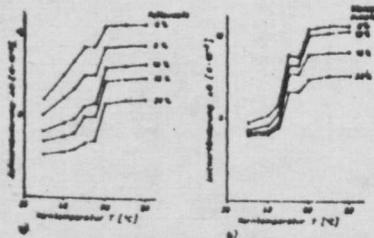


Bild 7: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur in Schweinefleischbrät als unterschiedlichen Salz- (a) und Natriumkonzentration (b) (Meßfrequenz 50 Hz)

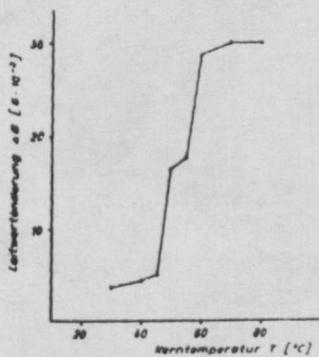


Bild 8: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur in Schweinefleischbrät mit 20% NaCl-, 20% Wasser- und 5% Kochsalzpunkt (Meßfrequenz 50 Hz)

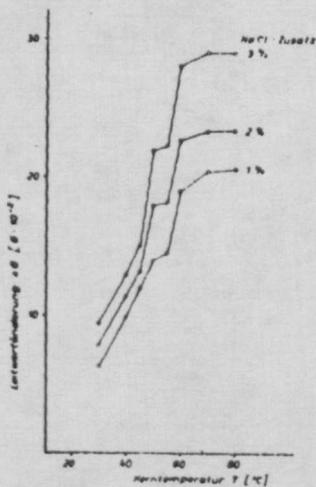


Bild 9: Leitwertänderung in Abhängigkeit von der Kerntemperatur in Schweinefleischbrät bei unterschiedlichen Kochsalzkonzentrationen (Meßfrequenz 50 Hz)