

Bedeutung und Messung der Wasseraktivität (a_w -Wert) von
Fleisch und Fleischwaren

Importance and Measurement of Water Activity (a_w) in
Meat and Meat Products

L. LEISTNER und F. WIRTH

Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Bundesrepublik Deutschland

Die Wasseraktivität ist ein Begriff, der von SCOTT (1953, 1957) eingeführt wurde. Danach errechnet sich die Wasseraktivität eines Substrates aus der Anzahl und Menge der darin enthaltenen Ionen und Moleküle und den osmotischen Koeffizienten dieser Substanzen.

Die Wasseraktivität eines Lebensmittels beeinflusst die Vermehrung und die Stoffwechselaktivität der bei dem betreffenden Produkt vorkommenden Mikroorganismen sowie deren Resistenz, z. B. gegenüber Hitze oder Strahlen. Vereinbarungsgemäß hat destilliertes Wasser eine Wasseraktivität bzw. einen a_w -Wert von 1, eine völlig wasserfreie Substanz hat einen a_w -Wert von 0. Setzt man dem destillierten Wasser lösliche Substanzen wie z. B. Salz, Zucker oder Eiweiß zu, dann verringert sich die Wasseraktivität entsprechend der Art und Menge des Zusatzes. Entzieht man diesem System Wasser durch Trocknung oder Gefrieren, dann verringert sich die Wasseraktivität noch weiter. Bei einem bestimmten a_w -Wert ist die Vermehrung und Stoffwechselaktivität bestimmter Gruppen oder Stämme von Mikroorganismen nicht mehr möglich.

In dem vorliegenden Beitrag wird die Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren behandelt, und zwar unter besonderer Berücksichtigung von Untersuchungen, die auf diesem Gebiet in den letzten Jahren in der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, durchgeführt worden sind.

In unserem Laboratorium haben sich für die Messung der Wasseraktivität bisher die folgenden Verfahren bewährt, die eine recht exakte Bestimmung des a_w -Wertes von Fleisch und Fleischwaren erlauben:

- A) Die Gleichgewichts-Methode von LANDROCK und PROCTOR (6, 2);
- B) das Durotherm-Haarhygrometer der Firma LUFFT, Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland (15);
- C) Lithiumchlorid unter Verwendung der Geräte der Firma SINA, Zürich, Schweiz (5, 20);
- D) die Taupunkt-Bestimmung mit dem Modell 880 der Firma EG&G INTERNATIONAL, Waltham, Mass., U.S.A. (16).

Die Verfahren A und B erfordern keine kostspieligen Geräte, allerdings ist das Verfahren A aufwendig im Hinblick auf Arbeit und Zeit, denn für einen Meßwert sind mehrere Ansätze und 24 Stunden notwendig. Das Verfahren B ist einfach in der Durchführung und eignet sich daher für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle sowie die Lebensmittelüberwachung; man erhält einen Meßwert in 2 bis 3 Stunden. Bei den Verfahren C und D liegt der Meßwert ebenfalls nach 2 bis 3 Stunden vor, diese Verfahren erfordern jedoch teure Geräte und sind daher nur für die Forschung geeignet. Bei dem Verfahren C muß eine konstante Meßtemperatur, im Gegensatz zum Verfahren D, eingehalten werden. Andererseits ist die Ermittlung der Meßwerte beim Verfahren C durch direkte Ablesung und beim Verfahren D erst nach Umrechnung möglich. Unter Abwägung der gegebenen Vor- und Nachteile können wir das Durotherm-Haarhygrometer (Verfahren B) für Routineuntersuchungen und die Taupunkt-Bestimmung (Verfahren D) für die Forschung empfehlen.

Da die Wasseraktivität mikrobielle, enzymatische, chemische und physikalische Reaktionen in Fleisch und Fleischwaren beeinflusst, erscheint es wünschenswert, nicht nur den a_w -Wert der Produkte zu messen, sondern auch zu kontrollieren, d. h. die Produkte auf den optimalen a_w -Bereich einzustellen. Durch traditionelle technologische Verfahren, wie das Salzen, Pökeln, Trocknen und Gefrieren, wird die Wasseraktivität in Fleisch und Fleischwaren empirisch beeinflusst und dadurch die Haltbarkeit der Produkte verbessert. Beispiele dafür sind die Rohwurst, deren Wasseraktivität durch Salzzugabe und Trocknung herabgesetzt wird oder das Gefrierfleisch, bei dem durch die Immobilisierung des Wassers durch Gefrieren der a_w -Wert ebenfalls stark vermindert wird. In den letzten Jahren wurde auch versucht, Fleischwaren mit niedrigem a_w -Wert durch Ersatz des Wassers durch Glycerin herzustellen; diese Produkte (Intermediate Moisture Meats) sind unerhitzt auch bei Zimmertemperatur wochenlang haltbar (BROCKMANN, 1969).

In unserem Laboratorium wurde zunächst untersucht, inwieweit die Wasseraktivität von Fleischwaren durch erlaubte Zusätze vermindert und dadurch die Haltbarkeit der Produkte verbessert werden kann (LEISTNER und KARAN-DJURDJIĆ, 1970e). Wenn man die von uns geprüften Zusätze über ihre sogenannte "1%-Wertigkeit" vergleicht, dann ergibt sich die folgende absteigende Reihenfolge im Hinblick auf die Depression des a_w -Wertes: Kochsalz, Polyphosphat, Citrat, Ascorbinsäure, Glucono-delta-Lacton, Acetat, Tartrat, Glycerin, Lactose, Milcheiweiß und Fett. Allerdings ist nicht nur die "1%-Wertigkeit" von Bedeutung, sondern vor allem die Menge, in der diese Zusätze bei Fleischwaren verwendet werden können. Zum Beispiel wird die Wasseraktivität durch 3 % NaCl etwa im gleichen Ausmaß erniedrigt, wie durch 30 % Fett. Da die Wasserbindung des Fleisches die Wasseraktivität nicht signifikant beeinflusst (VRCHLABSKÝ und LEISTNER, 1970a) und die Wasseraktivität verschiedener Muskel von Rind und Schwein weitgehend übereinstimmt (LEISTNER, HERZOG und LINKE, 1971b), kann man beim frischen

nicht abgetrockneten Fleisch immer von einem Grundwert von 0,990 ausgehen und aufgrund der für die einzelnen Zusätze erarbeiteten "1%-Wertigkeit" - unter Berücksichtigung der Rezeptur der Fleischerzeugnisse - den a_w -Wert des Produktes nahezu vorausberechnen. Von größter praktischer Bedeutung für die Veränderung der Wasseraktivität bei der Fleischverarbeitung sind der Entzug oder die Zugabe von Wasser, die Zugabe von Kochsalz sowie der Gehalt oder die Zugabe von Fett. Durch Fett wird der a_w -Wert nicht direkt beeinflusst, sondern nur das Wasser verdrängt, in dem sich die vorhandenen löslichen Substanzen, insbesondere das Kochsalz, dann stärker konzentrieren.

Durch eine Veränderung des a_w -Wertes von Fleisch und Fleischwaren im erwünschten Sinne könnte man sowohl den Verderb dieser Lebensmittel einschränken als auch Lebensmittelvergiftungen verhindern, denn jede Keimart ist nur bis zu einem bestimmten minimalen oder auch maximalen a_w -Wert vermehrungsfähig. Dabei sind für Fleisch und Fleischwaren nur die minimalen a_w -Werte von praktischer Bedeutung, denn je niedriger der a_w -Wert liegt, umso weniger Keimarten können sich noch auf oder in dem Produkt vermehren. Die Kenntnisse über die minimalen a_w -Werte, bei denen die verschiedenen Gruppen von Mikroorganismen, die für Fleisch und Fleischwaren von Bedeutung sind, gehemmt werden, müssen als noch lückenhaft angesehen werden. Aus den verfügbaren Literaturangaben wurde die Tabelle 1 zusammengestellt, dabei sind vor allem die Angaben von BEM und TOMČOV (1972) sowie von BEM und LEISTNER (1970a) berücksichtigt worden. Aus der Tabelle 1 geht hervor, daß die meisten gramnegativen Stäbchen bei einem a_w -Wert von weniger als 0,95 nicht mehr vermehrungsfähig sind. Das trifft auch für zahlreiche Keimarten der Gattungen Bacillus und Clostridium zu, deren Sporen bei dieser Wasseraktivität ebenfalls nicht mehr auskeimen. Das ist z. B. von praktischer Bedeutung für Fleischkonserven, denn Produkte, die aus sensorischen Gründen nicht so hoch erhitzt werden können, daß auch die Sporen der Gattungen Bacillus und Clostridium abgetötet werden, könnten trotz relativ milder Erhitzung durch Einstellen der Wasseraktivität auf maximal 0,95 dennoch zu stabilen Produkten werden. Das würde für die mild erhitzten Dreiviertelkonserven und die noch geringer erhitzten Halbkonserven von Vorteil sein. Zu den Dreiviertelkonserven gehören Brühwurst-, Leberwurst-, Blutwurst- und Sülzwurst-Konserven (LEISTNER, WIRTH und TAKÁCS, 1970a). Das Einstellen des a_w -Wertes auf maximal 0,95 ist uns bei Leberwurst-Konserven durch eine bestimmte Rezeptur, z. B. durch Zusatz von 2,5 % NaCl und 44 % Fett, gelungen. Derartige Konserven waren nach massiver Beimpfung mit Sporen von Clostridium sporogenes PA 3679 und trotz milder Erhitzung selbst nach wochenlanger Bebrütung bei 37 °C noch stabil (LEISTNER und KARAN-DJURDJIĆ, 1970e). Folglich kann die Verminderung der Wasseraktivität bei Dreiviertelkonserven günstig sein. Anders liegen die Verhältnisse bei Halbkonserven, zu denen insbesondere Dosenschinken gehören. Dosenschinken werden bis zu Kerntemperaturen von etwa 65 °C erhitzt. Diese Temperaturen können Enterokokken, also Streptococcus

faecium und S. faecalis, überleben, und daher ist die Verderbnis von Dosen-schinken oft auf Enterokokken zurückzuführen. Unsere Untersuchungen haben ergeben, daß die Hitzeresistenz der Enterokokken mit fallendem a_w -Wert zunächst ansteigt. Wurde die Wasseraktivität mit Kochsalz eingestellt, dann ist die höchste Hitzeresistenz bei einem a_w -Wert von 0,95 beobachtet worden (VRCHLABSKÝ und LEISTNER, 1970c). Aus diesen Untersuchungen ist zu folgern, daß eine Herabsetzung der Wasseraktivität auf 0,95 für Dreiviertelkonserven günstig sein kann, denn das Auskeimen der Bacillaceae-Sporen wird gehemmt; andererseits erscheint eine Verminderung des a_w -Wertes für Halbkonserven ungünstig, da sich die Hitzeresistenz der für diese Produkte wichtigen Enterokokken erhöht.

Auch die Hitzeresistenz von Laktobazillen nimmt mit abfallendem a_w -Wert zunächst zu. Beim Einstellen des a_w -Wertes mit Kochsalz wurde die maximale Hitzeresistenz bei den untersuchten Laktobazillen in dem Bereich von 0,985 bis 0,975 (entspricht einem Kochsalzzusatz von 1,4 bis 3,4 %) beobachtet (VRCHLABSKÝ und LEISTNER, 1971). Das kann für die Herstellung von Brühwurst im Darm von Bedeutung sein, da vergrünende Laktobazillen bei diesen Produkten zu Fehlfabrikaten führen.

Die Wasseraktivität der Brühwurst liegt im Bereich von 0,96 bis 0,98 (Tabelle 2). Die a_w -Werte der verschiedenen Brühwurst-Erzeugnisse unterscheiden sich nur wenig; durchschnittlich haben wir ermittelt bei Dosenwürstchen = 0,977, Gelbwurst = 0,976, Bratwurst = 0,973, Mortadella = 0,973, Bierschinken = 0,973, Fleischwurst = 0,970, Göttlinger = 0,969 und Luncheon Meat = 0,964 (LEISTNER und WIRTH, 1971c). Durch eine Herabsetzung der Wasseraktivität unter 0,96 könnte die Haltbarkeit dieser Produkte verbessert werden. Der a_w -Wert von Brühwürsten läßt sich durch Zusatzstoffe wie Phosphat, Citrat oder Milcheiweiß etwas vermindern, allerdings wirken sich diese Zusatzstoffe in lebensmittelrechtlich erlaubten Mengen nur wenig auf die Wasseraktivität der Produkte aus. Eine deutliche Verminderung der Wasseraktivität von Brühwurst ist durch Zugabe von höheren Mengen von Fett oder Kochsalz möglich, entspricht jedoch nicht dem gegenwärtigen Trend zu fettarmen und kochsalzarmen Fleischerzeugnissen. Kochsalzarme oder fettarme Brühwurst-Erzeugnisse, wie sie im Rahmen der Schonkost hergestellt werden, weisen andererseits eine überdurchschnittlich hohe Wasseraktivität auf, denn Brühwurst-Erzeugnisse, die weniger als 10 % Fett enthalten, haben einen a_w -Wert von mehr als 0,98. Daher ist bei kochsalzarmen oder fettarmen Brühwurst-Erzeugnissen auf einen besonders schnellen Umschlag und eine ausreichende Kühlung stets zu achten. Eine Verminderung der Wasseraktivität von Brühwurst-Erzeugnissen, bis auf Werte, bei denen der mikrobielle Verderb deutlich gehemmt wird, ist nur über den Wasserentzug oder eine geringere Schüttung möglich. Proben von echter italienischer Mortadella hatten a_w -Werte zwischen 0,96 und 0,93 und wiesen daher eine überdurchschnittliche Haltbarkeit auf (LEISTNER und WIRTH, 1971c).

Bei Kochwurst, also bei Blut- und Leberwurst, liegt die Wasseraktivität nur etwas niedriger als bei der Brühwurst (Tabelle 2). Eine Herabsetzung des a_w -Wertes und damit eine Verbesserung der Haltbarkeit ist bei Blutwurst durch eine stärkere Abtrocknung oder einen relativ hohen Speckanteil möglich. Auch bei Leberwurst kann, wie oben ausgeführt wurde, über die Rezeptur, insbesondere durch den Fett- und Kochsalzgehalt, der a_w -Wert gesteuert werden.

Bei der Rohwurst sind die Erniedrigung des pH-Wertes und die Verminderung des a_w -Wertes während der Reifung die entscheidenden Faktoren für die Konservierung dieses Produktes. Dabei wird die a_w -Wert-Verminderung in der Rohwurst nicht nur durch die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur während der Reifung beeinflusst, sondern auch die Zusammensetzung des Brätes, vor allem im Hinblick auf den Wasser-, Kochsalz- und Fettgehalt, spielt eine Rolle (LEISTNER, HERZOG und WIRTH, 1971a). Im allgemeinen liegt die Wasseraktivität bei Teewürsten (0,95) höher als bei Cervelatwürsten (0,91) und bei Cervelatwürsten höher als bei Salamiwürsten (0,90). Wenn man weiterhin die Unterschiede zwischen den schnell und langsam gereiften Rohwürsten (z. B. beträgt der a_w -Wert bei echter ungarischer Salami etwa 0,83) berücksichtigt, ergibt sich insgesamt eine erhebliche Streuung der Wasseraktivität bei Rohwurst-Erzeugnissen (Tabelle 2). Der a_w -Wert der Rohwurst wird bei der betriebseigenen Qualitätskontrolle, in der Lebensmittelüberwachung und auch beim Export zunehmend beachtet. Beim Import von Rohwürsten wird von den U.S.A. nunmehr eine a_w -Wert-Angabe gefordert; in Exportbetrieben der Bundesrepublik hat sich dafür das von uns entwickelte Durotherm-Haarhygrometer (RÖDEL und LEISTNER, 1972) bereits bewährt.

Bei den untersuchten Rohschinken wurden von uns aufgrund von Unterschieden in der Abtrocknung und im Fettgehalt sehr unterschiedliche a_w -Werte ermittelt, die zwischen 0,86 und 0,97 lagen (Tabelle 2). Bei Rohschinken, insbesondere Knochenschinken, ist die Wasseraktivität von großer Bedeutung für die Konservierung und kann auch entscheidend dafür sein, ob Lebensmittelvergiftungen, verursacht durch Clostridium botulinum, auftreten. Bei einer anderen Rohpökelfleischware im Stück, dem Bündnerfleisch, haben wir bei 24 Proben, die von acht verschiedenen Herstellern in der Schweiz stammten, einen a_w -Wert zwischen 0,86 und 0,94, im Durchschnitt von 0,90, ermittelt (Tabelle 2). Nur bei den Erzeugnissen eines Herstellers wurde Aspergillus flavus nachgewiesen; diese Produkte hatten den höchsten a_w -Wert von den untersuchten Proben.

Die Aufklärung des Verlaufs der Veränderung der Wasseraktivität während der Herstellung von Lebensmitteln und die Beeinflussung des a_w -Wertes kann einer modernen Prozeßsteuerung und Automatisierung der Fleischwarenherstellung den Weg bereiten (LEISTNER, 1970b, 1970c).

Tabelle 1: Minimale a_w -Werte für die Vermehrung von MikroorganismenTable 1: Minimal Water Activity (a_w) for Reproduction of Microorganisms

minimale a_w -Werte	Bakterien Bacteria	Hefen Yeasts	Schimmelpilze Molds
0,96	Shigella, Klebsiella, Proteus*, Flavobacterium, Pseudomonas*	--	--
0,95	Salmonella, Escherichia, Proteus, Citrobacter, Enterobacter, Serratia, Pseudomonas, Alcaligenes, Bacillus, Clostridium	--	--
0,94	Lactobacillus, Pediococcus, Streptococcus, Bacillus*, Moraxella, Microbacterium	--	--
0,93	--	--	Rhizopus, Mucor
0,92	--	Rhodotorula, Pichia	--
0,91	Corynebacterium , Streptococcus*	--	--
0,90	Micrococcus*, Pediococcus* Bacillus*	Saccharomyces, Hansenula	--
0,89	Micrococcus, Streptococcus*	--	--
0,88	Staphylococcus*	Candida, Torulopsis	Cladosporium
0,87	--	Debaryomyces	--
0,86	Staphylococcus	--	--
0,85	--	--	Penicillium
0,75	halophile Bakterien	--	--
0,65	--	--	Aspergillus
0,62	--	Zygosaccharo- myces	--
0,60	--	--	Xeromyces

* = einige Stämme (some strains)

Tabelle 2: Wasseraktivität (a_w -Wert) von Fleisch und FleischwarenTable 2: Water Activity (a_w) of Meat and Meat Products

Produkt	minimal		maximal	Durchschnitt
Frisches Fleisch	0,99	-	0,99	0,99
Brühwurst	0,96	-	0,98	0,97
Blutwurst	0,96	-	0,98	0,97
Leberwurst	0,95	-	0,97	0,96
Rohschinken	0,86	-	0,97	0,93
Rohwurst	0,83	-	0,96	0,91
Bündnerfleisch	0,86	-	0,94	0,90

Literatur

1. Bem, Z. und L. Leistner. 1970a. Die Wasseraktivitätstoleranz der bei Pökelfleischwaren vorkommenden Hefen. Fleischwirtschaft 50, 492 - 493.
2. Bem, Z. und L. Leistner. 1970b. Bestimmung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren mit der Methode von Landrock und Proctor. Fleischwirtschaft 50, 1412 - 1414.
3. Bem, Z. und D. Tomčov. 1972. Persönliche Mitteilung über die Wasseraktivitätstoleranz der bei Fleisch und Fleischwaren vorkommenden Bakterien.
4. Brockmann, M. 1969. Meat preservation at depressed water activities. Proc. 15th European Meeting of Meat Research Workers, Helsinki, Finland, page 468 - 473.
5. Karan-Djurdjić, S. und L. Leistner. 1970. Messung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren mit dem SINA-Gerät. Fleischwirtschaft 50, 1104 - 1106.
6. Landrock, A. H., and B. E. Proctor. 1951. A new graphical interpolation method for obtaining humidity equilibria data, with special reference to its role in food packing studies. J. Food Technol. 5, 332 - 337.
7. Leistner, L., F. Wirth und J. Takács. 1970a. Einteilung der Fleischkonserven nach der Hitzebehandlung. Fleischwirtschaft 50, 216 - 217.

8. Leistner, L. 1970b. Die Bedeutung des pH-Wertes, des Redoxpotentials und der Wasseraktivität für die Praxis der Fleischwarenherstellung. Arch. Lebensmittelhyg. 21, 121 - 126.
9. Leistner, L. 1970c. Einfluß der Wasseraktivität von Fleischwaren auf die Vermehrungsfähigkeit und Resistenz von Mikroorganismen. Arch. Lebensmittelhyg. 21, 264 - 267.
10. Leistner, L. 1970d. Die Bedeutung der Wasseraktivität (a_w -Wert) für die Haltbarkeit von vorverpacktem Fleisch und Fleischwaren. rim 2, 13 - 18.
11. Leistner, L. und S. Karan-Djurdjić. 1970e. Beeinflussung der Stabilität von Fleischkonserven durch Steuerung der Wasseraktivität. Fleischwirtschaft 50, 1547 - 1549.
12. Leistner, L., H. Herzog und F. Wirth. 1971a. Untersuchungen über die Wasseraktivität (a_w -Wert) von Rohwurst. Fleischwirtschaft 51, 213 - 216.
13. Leistner, L., Hannelore Herzog und H. Linke. 1971b. Wasseraktivität verschiedener Muskeln von Rind und Schwein. Fleischwirtschaft 51, 578 - 579.
14. Leistner, L. und F. Wirth. 1971c. Die Wasseraktivität von Fleischwaren und deren Beeinflussung. Mitteilungsblatt der Förderergesellschaft der Bundesanstalt für Fleischforschung e. V. 1971, 1416 - 1420.
15. Rödel, W. und L. Leistner. 1971. Ein einfacher a_w -Wert-Messer für die Praxis. Fleischwirtschaft 51, 1800 - 1802.
16. Rödel, W. und L. Leistner. 1972. Messung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren mit einem Taupunkt-Hygrometer. Fleischwirtschaft 52, im Druck.
17. Scott, W. J. 1953. Water relations of Staphylococcus aureus at 30 °C. Australian J. Biol. Sci. 6, 549 - 564.
18. Scott, W. J. 1957. Water relations of food spoilage microorganisms. Adv. Food Res. 7, 83 - 127.
19. Vrchlabský, J. und L. Leistner. 1970a. Beziehung zwischen Wasseraktivität und Wasserbindung von Rind- und Schweinefleisch. Fleischwirtschaft 50, 967 - 968.
20. Vrchlabský, J. und L. Leistner. 1970b. Erprobung eines SINA-Gerätes mit eingebautem Schreiber zur Messung der Wasseraktivität von Fleisch und Fleischwaren. Fleischwirtschaft 50, 1106 - 1107.
21. Vrchlabský, J. und L. Leistner. 1970c. Hitzeresistenz der Enterokokken bei unterschiedlichen a_w -Werten. Fleischwirtschaft 50, 1237 - 1238.
22. Vrchlabský, J. und L. Leistner. 1971. Hitzeresistenz von Laktobazillen bei unterschiedlichen a_w -Werten. Fleischwirtschaft 51, 1368 - 1370.