

Phosphate in Fleischerzeugnissen

Von Reiner Hamm

Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach

Im folgenden sei ein Überblick über die Verwendung von Phosphaten bei der Herstellung von Fleischerzeugnissen gegeben. Dabei soll in erster Linie der Einsatz von Phosphaten erörtert werden, wie er in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund der Fleisch-Verordnung (VO) in ihrer letzten Fassung vom 13. 12. 1979 zugelassen ist und nur kurz auf weitere, in anderen Ländern gegebene Möglichkeiten der Anwendung von Phosphaten bei der Behandlung und Verarbeitung von Fleisch eingegangen werden.

Seit Anfang der fünfziger Jahre hat man sich eingehend mit der Wirkung von Polyphosphaten (PP) auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften des zerkleinerten und unzerkleinerten Fleisches befaßt und festgestellt, daß einige Phosphate das Wasserbindungsvermögen (WBV) bzw. Safthaltevermögen des rohen und erhitzten Fleisches beträchtlich zu steigern vermögen¹⁻⁵). Es zeigte sich, daß neben der Wasserbindung bei bestimmten Fleischerzeugnissen auch „Fettemulgierung“, Textur, Aroma und Farbstabilität günstig beeinflusst werden. Die

hier in Betracht kommenden PP sind in erster Linie Diphosphat (Pyrophosphat), Tripolyphosphat und sogenanntes Hexameta-phosphat (Graham'sches Salz), ein „Phosphatglas“, das seiner chemischen Struktur nach nicht zu den Metaphosphaten gehört, sondern ein hochkondensiertes Polyphosphat darstellt^{6,7}) (Abb. 1). Polymetaphosphate haben nur geringe oder keine Wirkung^{5,8}).

Heute gibt es über die Verwendung und Wirkungsweise von Phosphaten bei der Behandlung und Verarbeitung von Fleisch etwa 400 Veröffentlichungen, wobei die Patentschriften noch nicht einbezogen sind. In der vorliegenden Abhandlung ist nur eine kleine Auswahl dieser Literatur zitiert, die den Zugang zu weiteren Arbeiten vermittelt.

Verwendung von Phosphaten bei der Brühwurstherstellung

In der Bundesrepublik Deutschland wurde seinerzeit der Einsatz von PP*) vor allem für die Herstellung von Brühwurstherzeugnissen**) gewünscht, um Fehlfabrikate durch Absetzen von Wasser und Fett in der Wurst zu vermeiden. Dieser Wunsch erschien insofern berechtigt, als das WBV des zerkleinerten Fleisches, aber auch sein Vermögen zur „Fettemulgierung“ im Wurstbrät aus verschiedenen Gründen im Laufe der Zeit abgenommen hatten. Die Möglichkeit, das hervorragend bindende schlachtwarne Fleisch zu verarbeiten, war stark zurückgegangen, da immer weniger Betriebe eigene Schlachtungen durchführten. Wichtiger aber war die Tatsache, daß in zunehmendem Maße Gefrierfleisch verarbeitet wurde, dessen Verarbeitungseigenschaften weniger vorteilhaft sind als die des nicht gefrorenen Materials. Daß die den Verbraucherwünschen nachkommende Züchtung von Rindern mit immer weniger Fett zu einer Verminderung des WBV führte, ist nicht mit Sicherheit nachgewiesen,

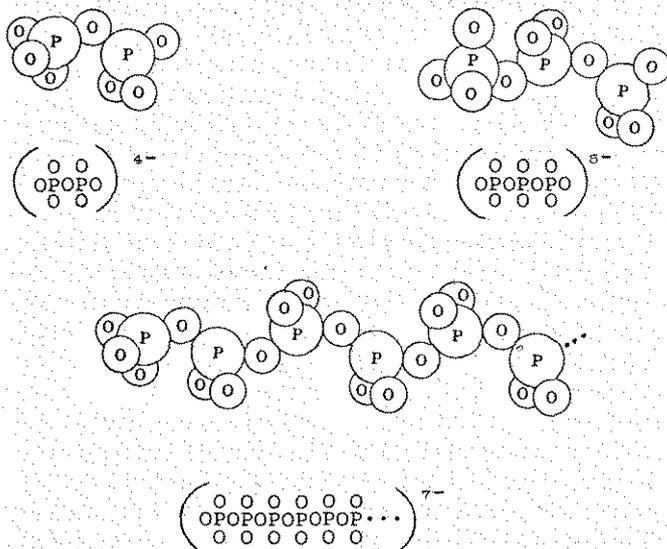


Abb. 1. Struktur der Anionen kondensierter Phosphate⁴).

*) Verwendete Abkürzungen: PP = Polyphosphate; DP = Diphosphat; TP = Tripolyphosphat; ATP = Adenosintriposphat; WBV = Wasserbindungsvermögen.

**) Hierzu gehören z. B. Frankfurter und Wiener Würstchen, Fleischwurst, Weißwurst, Lyoner, Gelbwurst, Mortadella, Schinkenwurst, Bier- und Jagdwurst, Krakauer, Leberkäse.

aber durchaus wahrscheinlich. Eine gewisse Bedeutung mag auch dem Umstand zukommen, daß entsprechend einer allgemeinen Änderung der Geschmacksrichtung der Salzgehalt von Fleischwaren gegenüber älteren Rezepturen etwas abgenommen hatte. Weniger Salz aber bedeutet geringeres WBV und schlechtere Fettverteilung im Brät⁵⁾. Da in vielen anderen Ländern der Zusatz von Phosphaten zu Fleischwaren zugelassen worden war, zeichnete sich für die deutschen Hersteller die Gefahr einer Wettbewerbsverzerrung ab. Aus diesen Gründen entschloß sich der Gesetzgeber zur Zulassung von Diphosphat für Brühwurstherzeugnisse, zumal weder Ernährungsphysiologen noch Toxikologen ernsthafte Bedenken gegen die Aufnahme von Phosphaten in der hier in Betracht kommenden Menge erhoben.

Die Zulassung ist auf den Zusatz des Natrium- oder Kaliumsalzes der Diphosphorsäure (Pyrophosphorsäure) in Höhe von 0,3 vom Hundert, bezogen auf Fleisch- und Fettmenge, beschränkt, wobei der pH-Wert einer 0,5prozentigen Lösung des Phosphats nicht höher als 7,3 sein darf. Dies entspricht etwa einem Diphosphat (DP) von der Zusammensetzung $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$. Ein einheitliches Salz dieser Art existiert allerdings nicht, sondern es kommen Mischungen oder Mischkristalle aus $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ in Betracht. Verwendet werden darf ein solcher Phosphatzusatz für Produkte aus nicht schlachtwarmem Fleisch, bei denen das Fleisch unter Zugabe von Trinkwasser oder Eis fein zerkleinert wird und das hierbei aufgeschlossene Muskelweiß bei Hitzebehandlung zusammenhängend koaguliert und den damit hergestellten Produkten Schnittfestigkeit verleiht. Der Gehalt dieser Erzeugnisse an DP muß durch die Angabe „mit Phosphat“ kenntlich gemacht werden. Diese Kennzeichnungspflicht steht offenbar einem ausgedehnten Einsatz von DP in der Bundesrepublik entgegen. Man begegnet jedenfalls nicht sehr häufig Brühwurstherzeugnissen, die mit dem Hinweis „mit Phosphat“ versehen sind.

Die Wirkung eines Zusatzes von 0,3 Prozent DP entsprechend den Vorschriften der Fleisch-VO läßt sich am besten demonstrieren, indem man das handwerksüblich hergestellte Wurstbrät in Dosen auf verschiedene Temperaturen erhitzt und sowohl Geleeabsatz (Wasseraustritt) als auch die Menge des ausgetretenen Fettes mißt. Bei einem Versuch, dessen Resultate in Abb. 2 und 3 wiedergegeben sind⁹⁾, waren magerem Rindfleisch im Kutter 70 Prozent Wasser und 30 Prozent Fettgewebe (Schweinebauch) zugesetzt worden. Der NaCl-Gehalt betrug bei den Kontrollbräten wie auch bei den DP-Bräten 2 Prozent. Die Höhe des DP-Zusatzes war 0,3 Prozent (bezogen auf Fleisch- plus Fettmenge). Bei einer normalen Endtemperatur des Brätes im Kutter (13°C), die bei der Verwendung gut gekühlter Rohmaterialien erreicht wird, bewirkte DP-Zusatz eine deutliche Verringerung des Geleeabsatzes, wobei dieser Effekt mit steigender Temperatur, bei welcher das Brät erhitzt worden war, zunahm. Betrachtlich größer war die Phosphatwirkung, wenn die Temperatur des Brätes im Kutter auf 23°C angestiegen war.

Der Fettabsatz beim Erhitzen der Wurstbräte war stets sehr viel geringer als der Wasserabsatz (Abb. 2). Bei einer Brättemperatur im Kutter von 13°C trat selbst beim Erhitzen des Kontrollbrätes auf 110°C nur sehr wenig Fett aus; ein Zusatz von DP war daher nur von geringer Wirkung. War dagegen die Endtemperatur des Brätes im Kutter auf 23°C gestiegen, so war bei den Kontrollbräten ein mit steigender Temperatur stark zunehmender Fett-

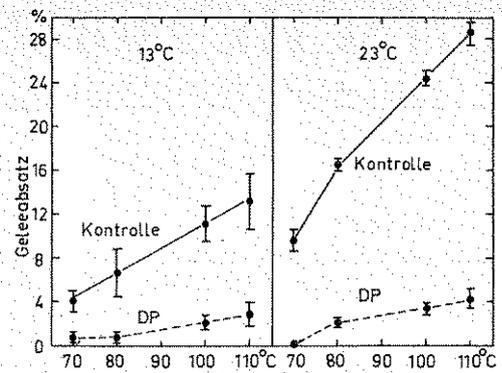


Abb. 2. Einfluß des Diphosphat(DP)-Zusatzes (0,3%) auf den Wasseraustritt (Geleeabsatz) beim Erhitzen handwerksüblich hergestellter Brühwurstbräte. Endtemperatur der Bräte im Kutter + 13°C (links) und +23°C (rechts). Weitere Angaben im Text.

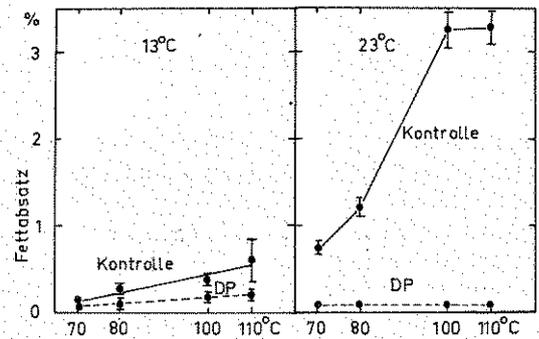


Abb. 3. Einfluß des Diphosphat(DP)-Zusatzes (0,3%) auf den Fettabsatz beim Erhitzen handwerksüblich hergestellter Brühwurstbräte. Gleiche Bräte wie in Abb. 2.

absatz zu beobachten, während in den Bräten mit DP-Zusatz fast kein Fett ausgetreten war. Diese Ergebnisse lassen erkennen, daß DP vor allem bei der Herstellung von Dosenwürstchen (Erhitzungstemperatur 110°C) eine technologisch günstige Wirkung entfaltet, während bei der normalen Ware, die beim Brühen eine Temperatur von ca. 70°C erreicht, der Effekt von DP wesentlich geringer ist.

Die bessere Bindung von Wasser und Fett verleiht der Wurst eine feste Konsistenz, guten „Biß“ und saftigen, vollen Geschmack; der Anschnitt ist glatt und dicht^{5, 8, 10, 12)}. Aus histologischen Untersuchungen geht deutlich hervor, daß in den erhitzten Bräten mit DP das Fett wesentlich feiner verteilt ist als in Kontrollbräten⁹⁾. Dennoch wäre es falsch, DP und andere PP als Emulgatoren zu bezeichnen. Wie unten noch dargelegt werden soll, ist für die Wirkung des DP bei der Brühwurstherstellung die starke Quellung des myofibrillären Eiweißes entscheidend. Ein solches stark gequollenes System hält bei Hitze koagulation in seinem weitmaschigen Netzwerk das beim Erhitzen flüssig werdende Fett in fein verteiltem Zustand fest und verhindert so ein Zusammenrinnen, d. h. den Fettabsatz¹²⁾.

Es sei erwähnt, daß man – vor allem in den USA – den Zusatz von saurem DP ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{O}_7$) für die Brühwurstherstellung empfohlen hat, um mittels der hierdurch bedingten Senkung des pH-Wertes eine raschere Umrötung (Bildung von Stickoxid-Myoglobin) zu erreichen^{8, 19)}. Eine Beschleunigung des Herstellungsprozesses bringt natürlich wirtschaftliche Vorteile mit sich. Der mit einer

Erniedrigung des pH-Wertes verbundenen Verringerung des WBV wirkt der – bei niedrigerem pH-Wert allerdings nur geringe – bindungssteigernde Effekt des DP-Anions entgegen. Man muß allerdings bedenken, daß in den USA bei der Brühwurstherstellung wesentlich weniger Wasser zugesetzt wird als in der Bundesrepublik und daher das Problem der Wasserbindung nicht so gravierend ist.

Außerhalb der Bundesrepublik wird neben DP in erheblichem Umfang Tripolyphosphat (TP) verwendet⁸). Wie unten noch gezeigt werden soll, vermag TP als solches das WBV des Fleisches nicht zu erhöhen; erst in dem Maße, in dem es durch ein fleischeigenes Enzym zu DP abgebaut wird, entfaltet es seine verarbeitungstechnisch günstige Wirkung. Daß man im Ausland überhaupt TP verwendet – und zwar in wesentlich größerem Umfang als DP – dürfte darauf beruhen, daß man es dort hauptsächlich zur Schinkenpökung (siehe unten) einsetzt und TP in Wasser und Laken besser löslich ist als DP.

Verwendung von Phosphaten bei der Schinkenherstellung

In verschiedenen Ländern ist die Verwendung von TP und daneben auch von DP und „Hexametaphosphat“ zur Herstellung von Kochschinken zugelassen. Solange man die Lake in die Arterien spritzte, mochte der Effekt von PP verhältnismäßig gering gewesen sein, da das Phosphat aus den Arterien nur recht langsam in das umgebende Muskelgewebe diffundierte. Bei der Schnellpökung, bei welcher die Lake mit vielen Injektionsnadeln unmittelbar in die Muskulatur gespritzt wird, erfolgt die Durchdringung des Gewebes mit dem Phosphat wesentlich rascher⁴). Kommt nun noch das Durchkneten des Schinkens bei dem sogenannten Tumbeln oder Poltern hinzu, so wird durch eine beginnende Zerstörung der Gewebestruktur die Verteilung des Phosphats beschleunigt¹³). Beim Erhitzen wird ein solcher Schinken wesentlich geringeren Geleeabsatz aufweisen als ohne PP gepökelte Ware¹⁴). Beim Pökeln mit PP-haltigen Laken besteht die Gefahr, daß der Schinken nach Kochen nicht unbedeutliche Mengen an Fremdwasser enthält. Hierauf ist bei der Kontrolle von Importschinken im Rahmen der Lebensmittelüberwachung besonders zu achten. Im allgemeinen werden zum Pökeln Laken mit einem PP-Gehalt von 2 bis 3 Prozent angewandt, so daß das Produkt 0,2 bis 0,3 Prozent PP enthält.

Andere Möglichkeiten der Verwendung von Phosphaten in der Fleischwirtschaft

Eine weitere, in der Bundesrepublik nicht in Betracht kommende Anwendung von Phosphaten ist der Zusatz von 2 bis 8 Prozent PP zur Kühlflüssigkeit bei der Kühlung von Geflügelkarkassen (z. B. im „Spin-Chiller“)^{4,19}). Hier ist der verminderte Gewichtsverlust während des Kühlprozesses von wirtschaftlichem Vorteil; ein geringerer Wasseraustritt bei der Zubereitung von in dieser Weise gekühltem Geflügel soll sich günstig auf den Geschmack auswirken. Es besteht jedoch die Möglichkeit einer erhöhten Fremdwasseraufnahme aus dem Kühlbad, die keinesfalls zu befürworten ist. Die Geflügelhaut scheint allerdings das Eindringen von PP in das Muskelfleisch zu erschweren, vor allem, wenn ihr Fettgehalt hoch ist. Bei jungen Schlachthähnchen ist daher eine höhere Phosphatkonzentration im Fleisch zu erwarten als bei

älteren Tieren. Ist die Haut entfernt, so steigert sich die Phosphataufnahme um das Doppelte bis Dreifache⁴). Durch Eintauchen von Fleischteilen in fünf- bis zehnprozentige PP-Lösungen läßt sich der Gewichtsverlust während anschließender Kühlung sowie der Saftaustritt nach Gefrieren und Auftauen und beim anschließenden Garen herabsetzen^{4,6,15}) (Abb. 4). Injektion von Lösungen, welche NaCl und PP enthalten, in Steaks steigert die Wasserretention bei der Zubereitung. Solche Steaks wurden als saftiger und zarter bewertet als die Kontrollproben^{4,6}). Man hat Injektionen von PP-Lösungen (mit und ohne NaCl-Zusatz) zur Erhöhung der Zartheit des Fleisches vorgeschlagen^{8,10,15,16}), die sicherlich auf einer Spaltung von Querbindungen im myofibrillären Eiweiß beruht (s. u.). Ein Zusatz von PP zu zerkleinertem Rohfleisch, das für Hamburger, Fleischbällchen etc. verwendet wird, soll Bindung, Saftigkeit und Aroma der zubereiteten Produkte verbessern, vor allem dann, wenn diese längere Zeit bei Kühl- oder Gefriertemperaturen aufbewahrt werden müssen^{4,10}).

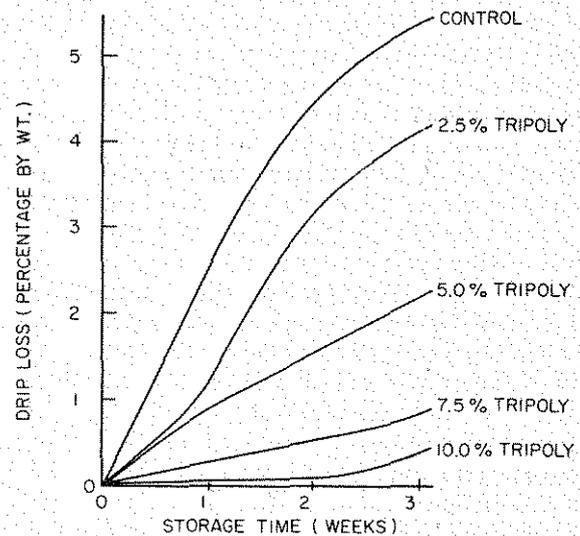


Abb. 4. Tropfsaftverluste (Drip Loss) von rohen Rindfleischscheiben, die in Lösungen von Tripolyphosphat unterschiedlicher Konzentration eingetaucht worden waren, während der Lagerung bei +3° C⁴).

Die sogenannte Restrukturierung von Fleisch, d. h. die Herstellung größerer Fleischstücke durch Zusammenpressen kleinerer Abschnitte, wird durch Anwendung von PP sehr begünstigt^{8,10,14}). Durch Eintauchen der kleinen Stücke in eine Lösung von NaCl und PP wird an der Oberfläche des Fleisches etwas myofibrilläres Eiweiß in Lösung gebracht, das beim Zusammenpressen der Stücke „verklebend“ wirkt und beim Erhitzen durch Koagulation des gelösten Eiweißes die Stücke so fest miteinander verbindet, daß sich solches „restrukturiertes“ Fleisch wie ein großes intaktes Fleischstück aufschneiden läßt. Auf speziellere Möglichkeiten der Anwendung von Phosphaten wie z. B. für die Verbesserung des WBV von gefriergetrocknetem, rehydratisiertem Fleisch⁵) oder von Fleisch, das durch Behandlung mit ionisierenden Strahlen pasteurisiert oder sterilisiert wird¹⁷), sei hier nicht eingegangen. In der Regel handelt es sich hier darum, bei bestimmten Behandlungsverfahren eintretende Wasserbindungsverluste durch die quellende, bin-

dungssteigernde Wirkung der PP aufzuheben oder zu vermindern. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß in der Bundesrepublik auf dem Fleischsektor ein Phosphateinsatz nur bei der Brühwurstherstellung gestattet ist (s. o.).

Ursachen der Phosphatwirkung

Für die in der Bundesrepublik in Betracht kommende Anwendung von Phosphaten ist die Frage von Interesse, worauf die Wirkung von DP auf Wasser- und Fettbindung in Brühwurstzeugnissen beruht. Fleisch besteht aus Muskelfasern. Jede Faser (oder Muskelzelle) ist von der Zellwand, dem Sarkolemm, umhüllt, innerhalb welcher längs der Faser die aus feinen Eiweißfilamenten aufgebauten Fibrillen angeordnet sind. Bei der Feinzerkleinerung des Fleisches im Kutter wird das Sarkolemm zer schlagen. Dabei wird ein Teil der Myofibrillen bloßgelegt, die dann in ihre Hauptbestandteile, die Myofilamente, zerfallen. Kolloidchemisch bedeutet dies, daß die nur begrenzt quellbaren Fasern in ein Eiweißgel übergehen, das unter bestimmten Bedingungen „unbegrenzt quellbar“ wird. Diese Substanz stellt etwa dasjenige dar, was die Fleisch-Verordnung mit „aufgeschlossenem Muskel-eiweiß“ bezeichnet. Die Filamente bestehen in der Hauptsache aus den Strukturproteinen Myosin und Actin, die, soweit es sich nicht um noch schlachtwarmes Fleisch handelt, miteinander zum Actomyosin-Komplex verknüpft sind. Feinzerkleinertes Fleisch ist also im wesentlichen eine Mischung von Eiweißfilamenten mit Faserbruchstücken und Bindegewebsfragmenten.

In Abwesenheit von DP sind Actin- und Myosinfilamente fest miteinander verbunden, also stark vernetzt (Abb. 5). Zugabe von DP bedingt eine Spaltung der Bindungen zwischen Myosin und Actin. Hierdurch kommt es zu einer Auflockerung des Protein-Netzwerkes und damit zu einer starken Zunahme der Quellung, wobei schließlich – in Gegenwart von Kochsalz – an den Grenzflächen zwischen Eiweißgel und umgebender wässriger Phase die Filamente zerfallen und in Lösung gehen^{5,18}). DP wirkt offenbar in ähnlicher Weise wie das natürliche Polyphosphat Adenosintriphosphat (ATP), das in schlachtfri-schem Fleisch dessen hohes WBV hervorruft, indem es eine Assoziation von Myosin- und Actinfilament verhin-

dert. Innerhalb weniger Stunden nach dem Schlachten wird ATP enzymatisch bis zum Inosinmonophosphat abgebaut. Die Folge ist eine als Rigor mortis bezeichnete starre Verbindung zwischen Myosin- und Actin-Filament, die zu einer starken Verminderung des WBV führt¹⁹). Man hat daher davon gesprochen, daß ein Zusatz von DP die Verhältnisse, wie sie im schlachtfri-schen Material herrschten, wiederherstellt. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß Fleisch in schlachtwarmem Zustand einen pH-Wert um 7 aufweist, während Fleisch nach Eintritt des Rigor mortis bei Zusatz eines zulässigen DP-Präparates pH 6 nicht überschreitet. Bei niedrigeren pH-Werten steigert aber DP (und ATP) das WBV wesentlich weniger als bei pH 7 (siehe unten).

Als einen Beweis für die dissoziierende Wirkung von DP auf das Actomyosin-System des Fleisches seien rheologi-sche Messungen mit dem Rotationsviskosimeter ange-führt^{20,21}) (Abb. 6). Unter Zusatz von NaCl hergestellte Homogenate aus schlachtfri-schem Fleisch weisen verhält-nismäßig geringe Viskosität und Fließgrenze auf; dies beruht darauf, daß Actin und Myosin infolge der Anwesenheit von ATP dissoziiert vorliegen. Während der Lagerung des Fleisches nach dem Schlachten wird ATP enzymatisch abgebaut, wobei Actin und Myosin zu Acto-myosin assoziieren (Rigor mortis); dies bringt eine erheb-liche Zunahme von Viskosität und Fließgrenze des aus dem gelagerten Fleisch hergestellten Homogenats mit sich. Setzt man einem solchen – NaCl enthaltenden – Homogenat DP zu, so sinken die rheologischen Daten auf Werte ab, wie sie einem Homogenat aus schlachtwarmen Gewebe entsprechen (Abb. 6). Ein Zusatz von DP zum Homogenat aus schlachtwarmem Fleisch hingegen bleibt ohne signifikante Wirkung auf Viskosität und Fließ-grenze, da ja Actin und Myosin infolge der Anwesenheit von ATP bereits in dissoziiertem Zustand vorliegen. Dies zeigt übrigens auch, daß es technologisch nicht gerechtfer-tigt ist, DP Bräten aus schlachtwarmem Fleisch zuzuset-zen, und dies ist ja auch nach der Fleisch-Verordnung nicht zulässig.

Steigender pH-Wert und/oder zunehmende NaCl-Kon-zentration in den für Fleischerzeugnisse in Betracht kommenden Grenzen erhöhen die Wirkung von DP bedeutend. Diese Tatsache läßt sich aufgrund der elek-

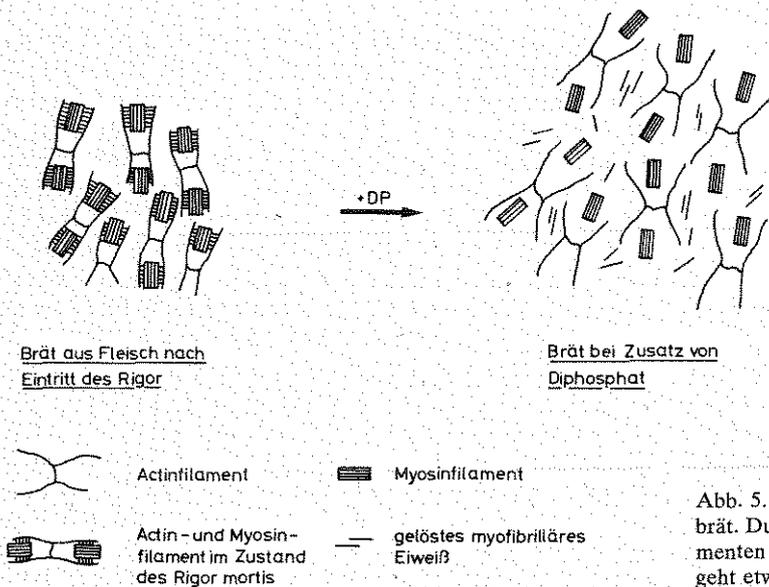


Abb. 5. Schema der Wirkung von Diphosphat (DP) auf Brühwurstbrät. Durch Spaltung der Bindungen zwischen Actin- und Myosinfilamenten wird die Quellfähigkeit des Systems stark erhöht; gleichzeitig geht etwas myofibrilläres Eiweiß in Lösung.

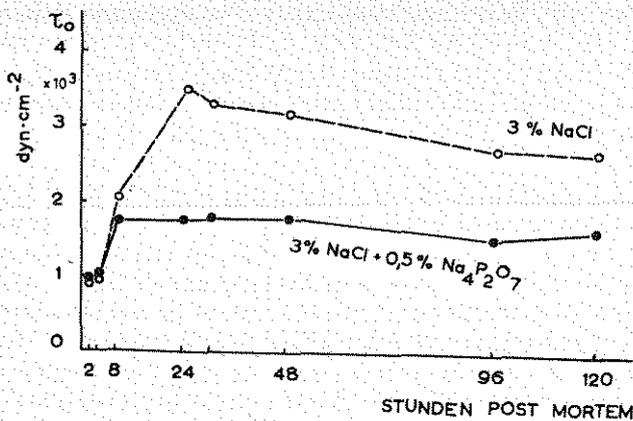


Abb. 6. Einfluß von Diphosphat (0,5%) in Gegenwart von 3% NaCl auf die Fließgrenze von Muskelhomogenaten, die aus Rindermuskel zu verschiedenen Zeitpunkten post mortem hergestellt waren und 50% zugesetztes Wasser enthielten²⁰).

trostatischen Theorie der Quellung von Proteinsystemen erklären^{5,18}). Eine Steigerung des pH-Wertes auf der basischen Seite des isoelektrischen Punktes des Actomyosins ($\text{pH} > 5,0$) führt zu einer Zunahme der negativen Nettoladung und damit zu einer wachsenden Abstoßung zwischen gleichsinnig (negativ) geladenen Gruppen benachbarter Peptidketten des Eiweißes. Eine ähnliche Wirkung hat die Bindung von Kochsalzionen; die elektrostatische Anziehung zwischen positiv und negativ geladenen Gruppen benachbarter Peptidketten („salzartige Bindung“) wird durch die Bindung von Gegenionen des Salzes aufgehoben. Die quellende Wirkung von pH-Erhöhung und/oder Salzzusatz wird jedoch durch die Bindungen zwischen Myosin- und Actin-Filamenten eingeschränkt. Werden diese Bindungen durch Zusatz von DP gespalten, so kann sich der quellende – und lösende – Effekt von pH-Steigerungen und NaCl-Zusatz wesentlich stärker auswirken als in Abwesenheit von DP. Man hat daher auch – in der Bundesrepublik nicht zulässige – Kombinationspräparate aus NaOH und TP für die Pökellung hergestellt²⁴).

Nach dem oben Gesagten besteht kein Zweifel, daß die Wirkung von DP auf seinem spezifischen Einfluß auf das Actomyosin, die Hauptkomponente des myofibrillären Eiweißes, beruht. DP ruft eine Dissoziation des Actomyosinsystems hervor, ein Effekt, der sowohl die Quellung des Actomyosinsystems steigert, als auch eine Auflösung des myofibrillären Eiweißes begünstigt. Die Frage ist nur, ob für den günstigen Einfluß des DP bei der Brühwurstherstellung die quellende oder aber die eiweißlösende Wirkung den entscheidenden Effekt darstellt.

Seit Anfang der fünfziger Jahre ist bekannt, daß DP in Gegenwart von NaCl die Quellung von zerkleinertem Fleisch beträchtlich zu steigern vermag²²). Dem scheint die Beobachtung anderer Autoren zu widersprechen, wonach DP keine Quellung, unter Umständen sogar eine entquellende Wirkung auf Fleisch ausüben soll^{23,24}). Ein Versuch, dessen Resultate in Abb. 7 dargestellt sind²⁵), gibt eine Erklärung für diesen scheinbaren Widerspruch²⁶). Zusatz von DP zu einem 2 Prozent NaCl enthaltendem Rindermuskelhomogenat führt sofort zu einer starken Erhöhung der Quellung des Fleisches, ohne daß zunächst eine Auflösung des Muskeleiweißes eintritt; innerhalb mehrstündigen Stehens des Homogenats

kommt es jedoch zu einer fortschreitenden Auflösung des myofibrillären Eiweißes, während die Quellung des rohen Gewebes abnimmt und schließlich Werte erreicht, die unterhalb derjenigen des Kontrollhomogenats ohne DP-Zusatz liegen.

Man könnte sich nun vorstellen, daß diese Verminderung der Quellung des Systems mit fortschreitender Auflösung des Actomyosins für die Brühwurstqualität nicht nachteilig ist, da Actomyosinlösungen beim Erhitzen ziemlich feste Gele bilden, welche ein Absetzen von Wasser und Fett im Wurstbrät verhindern sollten^{23–25}). Untersuchungen, bei welchen 2 Prozent NaCl enthaltende Modellbräte (Rindermuskelhomogenate ohne Fettzusatz) mit und ohne 0,3 bzw. 0,5 Prozent DP erhitzt wurden, zeigten, daß diese Annahme offensichtlich nicht zutrifft²⁷) (Abb. 8). Unmittelbar nach Zugabe von DP nimmt die beim Erhitzen der Homogenate austretende Saftmenge beträchtlich ab, während der Einfluß auf die

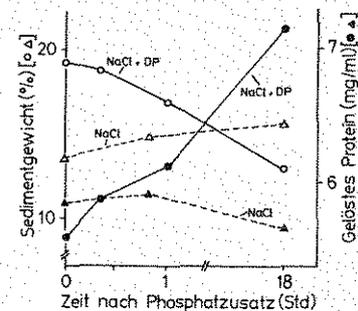


Abb. 7. Einfluß von Diphosphat (DP) auf die Quellung des Gewebes (gemessen mit Sedimentationsmethode) und die Löslichkeit der Muskelproteine in zerkleinertem Rindermuskel (7 Tage post mortem). 20 ml Flüssigkeit pro 1 g Gewebe. $\text{pH} 7,0$. NaCl = 0,4 M NaCl; NaCl + DP = 0,4 M NaCl + 0,075 M Na₄P₂O₇²⁵).

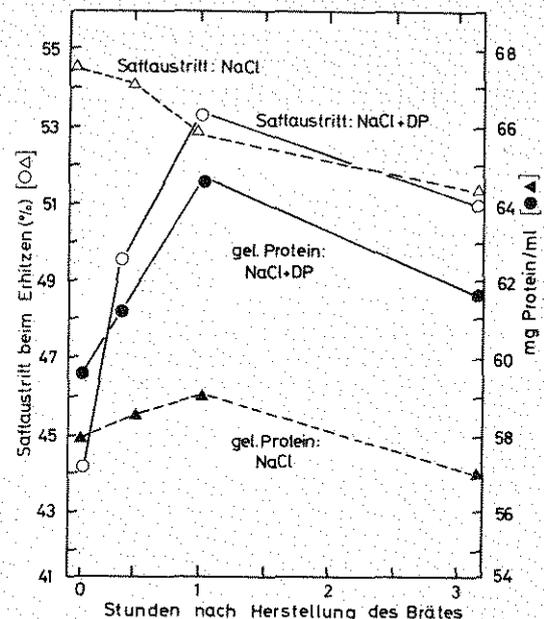


Abb. 8. Einfluß der Dauer der Einwirkung von Diphosphat (DP) auf Wasserbindungsvermögen (Saftaustritt beim Erhitzen) und Löslichkeit der Muskelproteine in Modellbräten ($\text{pH} 5,8$). Zusätze: 70% Wasser, 2% NaCl, 0,5% DP (NaCl- und DP-Zusatz bezogen auf Fleisch ohne Wasserzusatz). Die Kontrollbräte (Δ, \blacktriangle) enthielten kein DP²⁷).

Löslichkeit des myofibrillären Muskeleiweißes nur gering ist. Innerhalb von 60 Minuten nach DP-Zusatz nimmt die Löslichkeit des Muskeleiweißes unter dem Einfluß von DP zu, der Saftaustritt durch Erhitzen steigt jedoch auf Werte an, welche denjenigen der Kontrollbräte (ohne DP-Zusatz) entsprechen. Aus diesen Ergebnissen ist zu schließen, daß für die günstige Wirkung von DP auf die Qualität von Brühwurstergebnissen weniger die Auflösung der myofibrillären Proteine als vielmehr die Steigerung der Quellung der ungelösten Myofilamenten-Masse im Brät verantwortlich ist.

Die Geschwindigkeit der Auflösung des Muskeleiweißes in Gegenwart von DP in ihrer Auswirkung auf das WBV beim Erhitzen, wie sie in Abb. 8 dargestellt ist, gilt selbstverständlich nur für den speziellen Fall der hier angewendeten Versuchsbedingungen. Sie wird von vielen, in der Praxis stark variierenden Faktoren wie Temperatur, Konzentrationen an NaCl und DP, Fleisch:Wasser-Verhältnis, Zerkleinerungsgrad, pH-Wert des Brätes, Fettzusatz etc. beeinflusst. Wie kürzlich gezeigt wurde²⁶⁾, bleibt das hohe WBV von schlachtwarm zerkleinertem und gesalzenem Fleisch während der anschließenden Kühl- und Lagerung erhalten, obwohl die Löslichkeit des myofibrillären Eiweißes ebenso weitgehend abnimmt wie im nicht vorgesalzenen Fleisch, dessen WBV post mortem stark zurückgeht (s. o.). Nimmt man zu diesem Befund die eben erörterte Wirkungsweise von DP hinzu, so drängt sich der Schluß auf, daß für die Erzielung einer guten Brühwurstqualität die Auflösung des myofibrillären Eiweißes weit weniger wichtig ist als die Quellung des nicht gelösten Materials²⁷⁾.

Der Wasser- und Fettabsatz in Brühwurstergebnissen wird durch Zusatz von Tripolyphosphat (TP) in ähnlicher Weise verhindert wie durch DP. Man könnte daraus schließen, daß der Wirkungsmechanismus des TP demjenigen des DP entspricht. Dem ist jedoch nicht so. Eine Steigerung des WBV von zerkleinertem, gesalzenem Rindfleisch durch Zusatz von TP tritt nur in dem Maße ein, in welchem TP durch eine muskeleigene Tripolyphosphatase zu DP abgebaut wird²⁹⁾ (Abb. 9). Im Gegensatz zum DP ruft offenbar TP keine Dissoziation

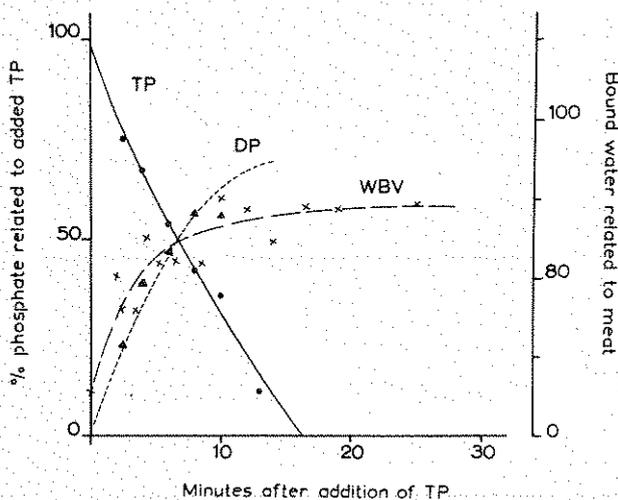


Abb. 9. Enzymatischer Abbau von Tripolyphosphat (TP) zu Diphosphat (DP) und Änderung des Wasserbindungsvermögens (WBV; Preßversuch) in zerkleinertem Rindermuskel (7 Tage post mortem). Zusätze: 50% Wasser, 0,5% TP, 2% NaCl²⁵⁾.

des Actomyosinsystems hervor. Da der enzymatische Abbau von TP im Brät sehr rasch erfolgt, ist es bis zum Zeitpunkt der Erhitzung der Würst („Brühen“) in der Regel völlig zu DP dephosphoryliert und übt daher einen analogen Effekt aus wie ein Zusatz von DP.

Die Ursachen der Phosphatwirkung bei der Schinkenpökung oder der Geflügelkühlung ist von ähnlicher Art wie sie eben für die Brühwurstherstellung erläutert wurde, wobei der Quellungseffekt maßgebend und die Eiweißauflösung nicht entscheidend, sondern eher von Nachteil ist. Die Auflösung myofibrillärer Proteine an der Oberfläche des unzerkleinerten Gewebes dürfte hingegen bei dem Einsatz von PP zur „Restrukturierung“ von Fleisch aus kleineren Stücken von größerer Bedeutung sein als die quellungssteigernde Wirkung der PP.

Einfluß von Phosphaten auf Aroma und Farbstabilität

Der Einfluß von PP auf Geruch und Geschmack des Fleisches ist ein indirekter, da PP selbst bei den hier in Betracht kommenden pH-Werten geschmack- und geruchlos sind und aus dem Fleisch keine Geruchsstoffe entbinden. Die günstige Wirkung von PP auf das Aroma von Fleisch, das in rohem Zustand längere Zeit bei Kühl- oder Gefriertemperaturen gelagert und dann zubereitet wird oder in gekochtem Zustand kühlgelagert wird, dürfte in erster Linie auf einer Verzögerung des Ranzigwerdens der Fettbestandteile des Fleisches oder der Fleischerzeugnisse beruhen^{8, 10, 15)}. So ließ sich aufgrund der Thiobarbitursäure-Werte nachweisen, daß in phosphatbehandeltem Fleisch die Autoxydation der Fette wesentlich langsamer vonstatten geht als in den unbehandelten Kontrollproben⁴⁾ (Abb. 10). Dies dürfte auf der komplexen Bindung von Schwermetallen im Gewebe beruhen, welche die Autoxydation katalysieren. Für die Erzielung dieses Effektes reicht eine PP-Menge von 0,3 bis 0,5 Prozent PP aus. Die Komplexbildung mit Schwermetallen wird auch als Grund dafür angesehen, daß ein Zusatz von PP die Stabilität der Farbe des frischen und gepökelten Fleisches erhöht^{8, 10)}.

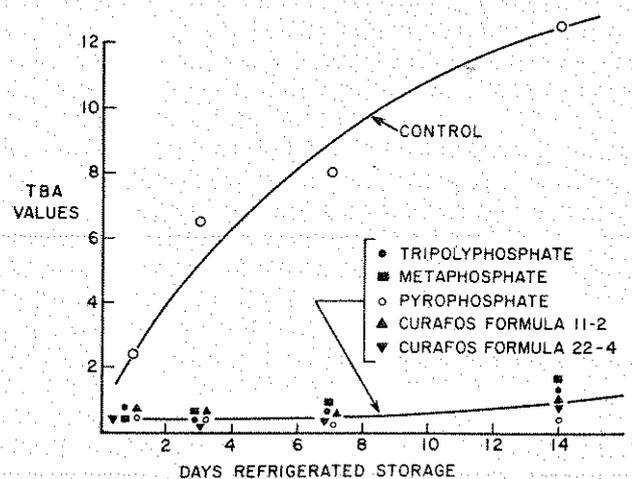


Abb. 10. Einfluß der Injektion von Lösungen verschiedener Polyphosphatpräparate in Roastbeef (PP-Gehalt im Fleisch: 0,5%) auf die Thiobarbitursäure (TBA)-Werte während Lagerung des gekochten Fleisches bei +4° C⁴⁾.

Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über die Verwendung kondensierter Phosphate bei der Behandlung und Verarbeitung von Fleisch gegeben, wobei der Einsatz von Disphosphat (DP) bei der Herstellung von Brühwurstzeugnissen besonders berücksichtigt wird. Ferner werden die Ursachen der Wirkung kondensierter Phosphate diskutiert. DP ruft durch Dissoziation des Actomyosin-Komplexes eine Quellung des Muskelgewebes und eine partielle Auflösung myofibrillärer Proteine hervor. Es konnte gezeigt werden, daß für die günstige Wirkung von DP bei der Brühwurstherstellung die Quellung des zerkleinerten Muskelgewebes und nicht die Auflösung von Muskelproteinen entscheidend ist. Im Gegensatz zu DP erhöht Tripolyphosphat das Wasserbindungsvermögen des Fleisches nicht, sondern wirkt erst in dem Maße, in welchem es im Wurstbrät enzymatisch zu DP abgebaut wird. Das Komplexbildungsvermögen der kondensierten Phosphate mit Schwermetallionen bedingt eine Verzögerung der Lipidoxydation und eine Erhöhung der Farbstabilität des Fleisches.

Summary

This article presents a review of the use of condensed phosphates for treatment and processing of meat with special regard to the use of disphosphate (DP) for the production of „bruehwurst“ (frankfurter and bologna type sausages). Furthermore, the reasons for the effect of condensed phosphates are discussed. DP causes swelling of muscle tissue and partial solubilisation of myofibrillar proteins by dissociation of the actomyosin complex. It could be demonstrated that for the effect of DP in sausage mixtures the swelling of minced muscle tissue is more important than the solubilisation of muscle proteins. Contrary to DP, tripolyphosphate does not increase the water-holding capacity of meat; it has an effect only in the same measure as it is enzymatically dephosphorylated to DP in the sausage mixture. The requestering power of condensed phosphates for heavy metal ions results in an inhibition of lipid oxidation and in an increase of the colour stability of meat.

Résumé

On donne un aperçu de l'utilisation de phosphates condensés dans le traitement et la préparation de la viande en prenant particulièrement en considération l'utilisation de diphosphate (DP) dans la fabrication de saucisses à bouillir. D'autre part, on discute des causes de l'action des phosphates condensés. DP provoque par dissociation du complexe actomyosine un gonflement du tissu musculaire et une désagrégation partielle des protéines myofibrillaires. On a pu démontrer que pour que DP ait la meilleure action lors de la fabrication de saucisses à bouillir, c'est le gonflement du tissu musculaire en petits morceaux qui est déterminant et non la désagrégation des protéines musculaires. Contrairement à DP, le tripolyphosphate n'augmente pas la capacité de fixation aqueuse de la viande, mais n'agit que dans la mesure où il est décomposé dans la viande à saucisse de façon enzymatique par rapport à DP. La capacité de complexation des phosphates condensés avec des ions de métal lourd conditionne un retardement de l'oxydation des lipides et une augmentation de la stabilité de couleur de la viande.

Literatur

- 1) *Ruf, F.*: Verwendung von Polyphosphaten. In: „Phosphat-Symposium“. J. A. Benckieser GmbH., Ludwigshafen/Rhein. 1956.
- 2) *Rudy, H.*: „Altes und Neues über kondensierte Phosphate“. J. A. Benckieser GmbH., Ludwigshafen/Rhein. 1960.
- 3) *Michels, P.*: „Verbindungen der Phosphorsäure in Lebensmitteln“. Selbstverlag, Braunschweig. 1968.
- 4) *Mahon, J. H., K. Schlamb, E. Brotsky*: General concepts applicable to the use of polyphosphates in red meat, poultry and seafood. In: „Phosphates in Food Processing“ (Hrsgb. J. M. Deman, P. Melnychyn), S. 158. AVI Publ. Co., Inc., Westport, Conn. (USA). 1971.
- 5) *Hamm, R.*: „Kolloidchemie des Fleisches“. Verlag Paul Parey, Berlin Hamburg. 1972.
- 6) *Van Wazer, J. R.*: Chemistry of phosphates and condensed phosphates. In: „Phosphates in Food Processing“ (Hrsgb. J. M. Deman, P. Melnychyn), S. 1. AVI Publ. Co., Inc., Westport, Conn. (USA). 1971.
- 7) *Halliday, D. A.*: Phosphates in food processing. *Process Biochem.* **1978**, July/August, 6.
- 8) *Iles, N. A.*: Phosphates in meat and meat products. A survey. *Brit. Food Manufact. Ind. Res. Assoc., Scientific and Technical Surveys No. 81* (1973).
- 9) *Pyrz, J., R. Hamm*: Unveröffentlichte Versuche.
- 10) *Cassidy, J. P.*: Phosphates in meat processing. *Food Prod. Devel.* **11**, 74 (1977).
- 11) *Karmas, E.*: „Sausage Products Technology“. Noyes Data Corporation, Park Ridge, N. J. (USA). 1977.
- 12) *Hamm, R.*: Die Bedeutung des Wasserbindungsvermögens des Fleisches bei der Brühwurstherstellung. *Fleischwirtschaft* **53**, 73 (1973).
- 13) *Cassidy, R. D., H. W. Ockermann, B. Krol, P. S. VanRoon, R. F. Plimpton, V. R. Cahil*: Effect of tumbling method, phosphate level and final cook temperature on histological characteristics of tumbled porcine muscle tissue. *J. Food Sci.* **43**, 1514 (1978).
- 14) *Karmas, E.*: „Processed Meat Technology“. Noyes Data Corporation, Park Ridge, N. J. (USA), 1976.
- 15) *Karmas, E.*: „Fresh Meat Processing“. Noyes Data Corporation, Park Ridge, Conn. (USA). 1970.
- 16) *Karmas, E.*: „Fresh Meat Technology“. Noyes Data Corporation, Park Ridge, N. J. (USA). 1975.
- 17) *Wierbicki, E., A. Brynjolfsson, H. C. Johnson, D. B. Rowley*: Preservation of meats by ionizing radiation-An update. *Proceed. 21th European Meat Research Worker's Meeting, Bern. 1975.*
- 18) *Hamm, R.*: Interactions between phosphates and meat proteins. In: „Phosphates in Food Processing“ (Hrsgb. J. M. Deman, P. Melnychyn), S. 65. AVI Publ. Co., Inc., Westport, Conn. (USA). 1971.
- 19) *Hamm, R.*: Kolloidchemische und biochemische Aspekte bei der Verarbeitung von Fleisch. *Dtsch. Lebensm. Rdsch.* **73**, 35 (1977).
- 20) *Hamm, R., R. Rede*: Zur Rheologie des Fleisches. V. Die Wirkung von Kochsalz und Diphosphat auf die rheologischen Eigenschaften von Rindermuskel-Homogenaten zu verschiedenen Zeitpunkten post mortem. *Fleischwirtschaft* **52**, 331 (1972).
- 21) *Hamm, R.*: On the rheology of minced meat. *J. Text. Stud.* **6**, 281 (1975).
- 22) *Bendall, J. R.*: The swelling effect of polyphosphates in lean meat. *J. Sci. Food Agric.* **10**, 468 (1954).
- 23) *Kotter, L.*: „Die Wirkung kondensierter Phosphate und anderer Salze auf tierisches Eiweiß“. Verlag M. u. H. Schaper, Hannover. 1960.
- 24) *Grabowska, J., R. Hamm*: Proteinlöslichkeit und Wasserbindung unter den in Brühwurstbräten gegebenen Bedingungen. IV. Mitt. Einfluß von NaCl-Konzentration, pH-Wert und Disphosphat. *Fleischwirtschaft* **59**, 166 (1979).
- 25) *Hamm, R., R. Neraal*: Über den enzymatischen Abbau von Tripolyphosphat und Diphosphat in zerkleinertem Fleisch. XII. Einfluß des Tripolyphosphat- und Diphosphat-Abbaues auf das Wasserbindungsvermögen des Fleisches. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **164**, 243 (1977).
- 26) *Hamm, R., J. Grabowska*: Proteinlöslichkeit und Wasserbindung unter den in Brühwurstbräten gegebenen Bedingungen. V. Mitt. Veränderungen nach dem Schlachten. *Fleischwirtschaft* **59**, 1338 (1979).
- 27) *Hamm, R., R. Egginger*: Zur Wirkungsweise kondensierter Phosphate bei der Brühwurstherstellung. *Fleischwirtschaft* **59**, 1727 (1979).

Phosphate in Fleischerzeugnissen – eine Richtigestellung

Von Reiner Hamm

Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach

In meinem Beitrag „Phosphate in Fleischerzeugnissen“¹ der kürzlich in dieser Zeitschrift¹) erschien, ist auf Seite 264 angegeben:

„Die Zulassung der Phosphate ist auf den Zusatz des Natrium- oder Kaliumsalzes der Diphosphorsäure (Pyrophosphorsäure) in Höhe von 0,3 vom Hundert, bezogen auf Fleisch und Fettmenge, beschränkt, wobei der pH-Wert einer 0,5prozentigen Lösung des Phosphats nicht höher als 7,3 sein darf. Dies entspricht etwa einem Diphosphat von der Zusammensetzung $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$. Ein einheitliches Salz dieser Art existiert allerdings nicht, sondern es kommen Mischungen oder Mischkristalle aus $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ in Betracht.“

Diese Angabe kann so verstanden werden, daß Mischungen aus $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ in der Bundesrepublik als Zusatz zu Brühwurstbräten zugelassen sind. Dies ist jedoch nicht der Fall. In der Anlage 1.5 zur Fleisch-Verordnung heißt es in Spalte 4 zu E 450a Natrium- und Kaliumdiphosphate: „... der pH-Wert der Stoffe, auch als Bestandteil ihrer Vermischung, darf 7,3, gemessen in einer 0,5prozentigen wäßrigen Lösung, nicht übersteigen...“. Damit ist eindeutig festgelegt, daß die Verwendung etwa einer Mischung von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ nicht gestattet ist. Die pH-Werte der 0,5prozentigen wäßrigen Lösungen (20°C) betragen nämlich für $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ca. 10,4, für $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ca. 10,1 und für $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ca. 4,3. Die Mischung von 55 Teilen $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ mit 45 Teilen $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ wies nach unseren Messungen in 0,5prozentiger wäßriger Lösung einen pH-Wert von 7,3 auf; den gleichen pH-Wert erbrachte eine Mischung von 58 Teilen $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ und 42 Teilen $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ²). Solche Salz-mischungen sind also nach der Fleisch-Verordnung als Brätzusatzmittel nicht zulässig, obwohl der pH-Wert ihrer Lösungen 7,3 nicht übersteigt.

Diese Regelung wurde seinerzeit mit der Tatsache begründet, daß die Löslichkeit der sauren und basischen Diphosphate unterschiedlich ist. So betrug die von uns ermittelte Löslichkeit der Salze in 100 ml Wasser (20°C) für $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 13,5 g, für $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 5,1 g und für $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ mehr als 100 g. Diese unterschiedliche Löslichkeit bringt es mit sich, daß bei Mischungen aus basischem und saurem Diphosphat, die nach völliger Auflösung einen pH-Wert von 7,3 nicht überschreiten, zu Beginn des Lösungsvorgangs je nach Art der gemischten Salze wesentlich höhere oder niedrigere pH-Werte auftreten²). Man befürchtete nun, daß bei Anwendung solcher Mischungen bei der üblichen Zugabe in fester Form während der Auflösung im Brät um die Salzpartikel pH-Werte auftreten, die stark vom Neutralpunkt abweichen und daher unerwünschte, irreversible Veränderungen im Fleisch und Fett des Brätes hervorrufen können, Effekte, die möglicherweise durch einen unterschiedlichen Vermahlungsgrad der Komponenten noch gesteigert werden könnten. Entsprechende Versuche schlossen solche Möglichkeiten nicht aus, die natürlich nicht bestehen, wenn der pH-Wert von Lösungen auch der Einzelkomponenten 7,3 nicht übersteigt. Die Fleisch-Verordnung schließt allerdings die Verwendung von Mischungen, die das in wäßriger Lösung sauer reagierende $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ enthalten oder auch von

$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ alleine nicht aus. Sieht man von der Möglichkeit einer gewissen Beschleunigung der Umrötung ab¹), so bringen solche sauer reagierenden Phosphate keinen Vorteil mit sich, da dank der Erniedrigung des Brät-pH-Wertes Wasserbindung und Fettverteilung in den Würsten erheblich schlechter sind als in Produkten, die ohne Zusatz solcher Phosphate hergestellt sind²).

Als 1968 wegen der Novellierung der Fleisch-Verordnung diese Fragen diskutiert wurden, konnte nach Informationen aus der Industrie ein neutral reagierendes, einheitliches Phosphatsalz direkt nicht hergestellt werden; ein entsprechend reagierendes Produkt sollte nur über das Auskristallisieren der Lösung eines Gemisches von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ in Form von Mischkristallen zu gewinnen sein²). In der Tat war der Literatur zu entnehmen, daß $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$ zwar in wäßriger Lösung existieren dürfte, in fester Form jedoch kaum herzustellen ist^{3,4}). Diese Situation hat sich offenbar inzwischen geändert, denn nunmehr wird einheitliches $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$ industriell gewonnen. Trinatriummonohydrogendiphosphat entsteht z. B. aus wäßriger Lösung von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ unter Zugabe von Natronlauge, wobei ein Gemisch von wasserfreiem Salz, Nonahydrat und Monohydrat auskristallisiert. Man kann das Salz auch unter Vermeiden des vollständigen Lösens aus einem Gemisch von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ durch Behandeln mit soviel Wasser herstellen, daß eine Hydratbildung erfolgt⁵). Solche Produkte sollen allerdings noch 5–10 Prozent $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ enthalten, die zwar nicht röntgenographisch, wohl aber mit dem Farbindikator-test nach *Pfrenge*⁶) nachweisbar sind⁷); dieser Test ist für quantitative Zwecke nicht geeignet⁸). Es soll jedoch auch eine vollständige Umsetzung des Gemisches von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ großtechnisch möglich sein^{7,9}).

Für die Identifizierung von Phosphaten in festem Zustand ist die Beugung von Röntgenstrahlen geeignet. Die Röntgenbeugungsdiagramme von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ und $\text{Na}_3\text{HP}_2\text{O}_7$ unterscheiden sich so deutlich voneinander^{8,10}), daß es sich bei dem Trinatriummonohydrogendiphosphat mit großer Sicherheit um eine eigenständige, definierte Verbindung und nicht um Mischkristalle aus Dinatrium- und Tetranatriumdiphosphat handeln dürfte; in letzterem Falle wäre lediglich eine Überlagerung der Röntgendiagramme dieser beiden Salze zu erwarten.

Literatur

- 1) Hamm, R.: Dtsch. Lebensm.-Rdsch. **76**, 263 (1980).
- 2) Bundesanstalt für Fleischforschung: Gutachten vom 11. 3. 1968.
- 3) Gmelins Handb. d. Anorgan. Chem. 8. Aufl., S. 362. Weinheim 1964.
- 4) Van Wazer, J. R.: „Phosphorus and its Compounds“, Bd. I, S. 620. New York 1958.
- 5) DB-Patent 974 304.
- 6) *Pfrenge*, O.: MittBl. GDCh-Fachgr. Lebensmittelchem. u. gerichtl. Chem. **23**, 199 (1969).
- 7) DB-Patentanmeld. 1 938 194 (28. 7. 1969).
- 8) *Puff*, H.-J., *H. Vogel*: Dtsch. Lebensm.-Rdsch. **69**, 357 (1973).
- 9) DB-Patent Anmeld. 1 941 291 (14. 8. 1969).
- 10) *Corbridge*, D. E. C., *F. R. Tromans*: Analytical Chem. **30**, 1101 (1958).