

1 Einleitung

Bereits seit den 40er Jahren ist bekannt, dass die Wahl des Garverfahrens einen entscheidenden Einfluss auf die Vitaminerhaltung im Gargut hat [Oser 1943; Thomas 1949; Krehl 1950].

Auch heute existieren zahlreiche Publikationen, die dem Verbraucher die Verwendung nährstoffschonender Garverfahren näher bringen wollen [z. B. AID 1998 und 2003]. Zu diesen Verfahren, die v. a. durch kurze Garzeiten und den Einsatz von wenig Wasser gekennzeichnet sind, zählen u. a. das Dünsten und das Dämpfen bei Normal- und Überdruck. Gerade für den Bereich der Dampfgarverfahren hat es in den letzten Jahren für Privathaushalte und Großküchen eine Vielzahl von Geräteentwicklungen gegeben, welche auf bequeme und nährstoffschonende Weise schmackhafte Garergebnisse erzielen sollen.

Daneben spielt das Garen in der Mikrowelle eine große Rolle, vor allem wenn es um die Zubereitung von Tiefkühlprodukten geht, deren Pro-Kopf-Verbrauch in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen ist und im Jahr 2002 bei 34,5 kg liegt [dti o. J.].

Ziel dieser Arbeit ist es, mit Hilfe moderner Laboranalytik zu untersuchen, wie sich das traditionelle Kochen und Dünsten auf der Kochstelle sowie das Garen in modernen Dampfgargeräten und der Mikrowelle auf den Gehalt an Ascorbinsäure, ζ -Tocopherol, η -Carotin und Mineralstoffen in verschiedenen frischen und tiefgekühlten Gemüsen auswirkt. Bei ζ -Tocopherol und η -Carotin soll weiterhin überprüft werden, ob die unterschiedliche Lokalisation und Bindung dieser Biomarker in den einzelnen Gemüsen einen Einfluss auf ihr Verhalten beim Garen hat.

Bei der Wahl der Garparameter ist darauf zu achten, dass der Garegrad der Gemüse sich zwischen den Garverfahren möglichst nicht signifikant voneinander unterscheidet und mindestens eine ausreichende Genussqualität vorliegt. Mit Hilfe der Bewertenden Prüfung mit Skale wird überprüft, inwiefern diese Ziele erreicht werden.

2 Stand des Wissens und der Technik

2.1 Garverfahren

2.1.1 Allgemeines

Unter Zufuhr von Energie findet beim Garen eine physikalisch-chemische Umwandlung der Rohware und der in ihr enthaltenen Inhaltsstoffe statt. Dabei werden Farbe, Textur, Geschmack, Geruch und Form der Lebensmittel beeinflusst und verändert [Tilgner 1974].

Durch das Garen von Lebensmitteln werden diese für den Menschen vielfach erst genießbar. Als Beispiel sind hier Hülsenfrüchte zu nennen, bei denen durch das Garen toxische Inhaltsstoffe wie Lektine denaturiert werden [Ternes 1990].

Durch Lockerung und Aufschluss des Zellgewebes werden manche Substanzen, wie z. B. Lycopin, vom menschlichen Körper besser aufgenommen [Gartner 1997; Dewanto 2002].

Beim Garen werden Röst- und Aromastoffe gebildet, die den Genusswert erhöhen. Reduzierende Zucker und Proteine können in unterschiedlichem Maße in Maillard-Produkte überführt werden, die für die Farbgebung und die Aromaveränderung (Kochgeschmack) des Gargutes sorgen. Außerdem schützt das Garen von Lebensmitteln vor Erkrankungen durch Mikroorganismen [Tilgner 1974; Ternes 1990].

Diesen positiven Einflüssen stehen selbstverständlich auch negative Effekte gegenüber. So können durch Hitze-, Licht-, Wasser- und Sauerstoffeinfluss insbesondere hydrophile Vitamine, Aromastoffe und Mineralien abgebaut oder ausgelaugt werden, wodurch Gesundheits- und Genusswert auch gemindert werden können [Bognár 1988].

2.1.2 Energieübertragung

Beim Garen wird Energie in Form von Wärme auf das Lebensmittel übertragen, wodurch sich dessen Temperatur erhöht. Wirkt eine bestimmte Wärmemenge entsprechend lange auf das Lebensmittel ein, geht dieses vom rohen in den garen Zustand über [Schlich 1994].

Der Begriff **Wärme** steht für die Energie, welche zwischen zwei Systemen aufgrund eines Temperaturunterschiedes übertragen wird. Dabei fließt die Wärme immer in Richtung der niedrigeren Temperatur [Hering 1992, Schlich 1994].

Wärme kann durch drei verschiedene Vorgänge übertragen werden:

Wärmeleitung

Wärmeleitung ist der Wärmefluss zwischen unmittelbar benachbarten Teilchen innerhalb von festen Körpern und unbeweglichen Fluiden.

Der Wärmestrom (dQ/dt), der infolge einer Temperaturdifferenz ($T_2 - T_1$) durch die Wandfläche (A) mit der Wandstärke (s) fließt, lässt sich nach folgender Gleichung ermitteln [Schlich 2002]:

$$dQ/dt = \lambda / s A (T_2 - T_1) \quad (\text{Gl.-1})$$

Die Proportionalitätskonstante λ ist ein temperaturabhängiger Stoffwert, der als *Wärmeleitfähigkeitskonstante* bezeichnet wird und je nach Stoff sehr unterschiedlich sein kann [VDI 1991; Hering 1992; Cerbe 2002].

Durch Wärmeleitung findet beim Garen z. B. die Übertragung der Wärme von der Heizplatte auf den Topfboden und der Wärmetransport von der Gargutoberfläche in das Innere des Gargutes statt [Pichert 1981; Zobel 1992].

Wärmeströmung (Konvektion)

Die Wärmeübertragung zwischen bewegten Flüssigkeiten oder Gasen und einer festen Wand wird als konvektiver Wärmeübergang bezeichnet. Da für Flüssigkeiten und Gase die gleichen Gesetze gelten werden sie einheitlich als Fluids bezeichnet [Cerbe 2002].

Der Wärmestrom, der von einem Fluid mit der Temperatur T_2 an eine Wandfläche A mit der Oberflächentemperatur T_1 übertragen wird, lässt sich mit folgender Gleichung berechnen [Schlich 2002]:

$$dQ/dt = \zeta A (T_2 - T_1) \quad (\text{Gl.-2})$$

Der Proportionalitätsfaktor wird als *Wärmeübergangskoeffizient* bezeichnet. Er hängt von sehr verschiedenen Einflussgrößen, wie z. B. der Oberflächenbeschaffenheit, Strömungsart und Strömungsgeschwindigkeit ab. Wird die Strömung des Fluids allein durch den Auftrieb, den die warmen Teilchen infolge des Dichteunterschieds gegenüber den kalten erfahren, verursacht, wird sie als *freie Konvektion* bezeichnet.

Erzwungene Konvektion entsteht, wenn die Strömung durch Einwirken äußerer Kräfte, z. B. durch Pumpen oder Ventilatoren, herbeigeführt wird, was zu höheren Werten des Wärmeübergangskoeffizienten führt. [VDI 1991; Hering 1992; Pichert 1995; Cerbe 2002].

Beim Garen in flüssigen und gasförmigen Garmedien erfolgt der Energiefluss zum Lebensmittel neben der Wärmeleitung überwiegend durch Konvektion. Die Konvektion lässt sich jedoch nie ganz von der Wärmeleitung trennen, da die Wärme an der wärmeabgebenden Oberfläche zuerst durch Leitung in das vorbeiströmende Medium eindringen muss [Zobel 1992; Cerbe 2002].

Da die Oberfläche in die Gleichung der Wärmeübertragung linear mit eingeht, bedeutet eine Zerkleinerung der Lebensmittel eine schnellere Erwärmung, sofern zwischen den einzelnen Teilchen noch Kanäle vorhanden sind [Pichert 1981].

Der *Wärmeübergangskoeffizient* wird beim Garen u. a. durch die Art und den Zustand des Garmediums, der Beschaffenheit und der Oberfläche des Gargutes, der Temperatur sowie vor allem der Geschwindigkeit und der Art der Strömung des Garmediums beeinflusst. So ist z. B. bei heißer Luft als Garmedium ein ausreichender Energiefluss nur durch erzwungene Konvektion gegeben, während beim Dampf im Sättigungszustand die freie Konvek-

tion ausreicht. Die Ursache dafür ist die Tatsache, dass Sattdampf, der auf die Oberfläche des kälteren Lebensmittels trifft, teilweise kondensiert und Kondensationsenthalpie an das Gargut abgibt, was zu einer hohen Wärmeübertragungsrate ohne negative Überhitzung der Gargutoberfläche führt [Pichert 1981; Wagner 1981; Naumann 1993; Cerbe 2002].

Film- und Tropfenkondensation

Bei Kondensationsvorgängen lässt sich zwischen Film- und Tropfenkondensation unterscheiden, d. h. das Kondensat schlägt sich entweder in Form von Tropfen oder als geschlossener Film (vollständige Benetzung) nieder. Der Wärmeübergang ist bei der Filmkondensation schlechter, da die Kondensationsenthalpie nur mittels Wärmeleitung durch den entstanden Wasserfilm an die Oberfläche des Objekts gelangt [Kessler 1996].

Dieser Vorgang wird durch die wachsende Filmdicke (x) noch weiter erschwert, da diese gemäß NUSSELT den Wärmeübergangskoeffizienten κ verringert [Nusselt 1916]:

$$\kappa(x) = \frac{\xi}{t(x)} \quad (\text{Gl.-3})$$

Schlägt sich der Dampf hingegen unter Tropfenbildung nieder, ist der Wärmeübergang durch den fehlenden Wasserfilm wesentlich besser. Die Tropfenkondensation tritt eher selten auf. Sie ist eine besonders günstige Form des Wärmeübergangs, da hier zehnmal höhere Wärmeübergangskoeffizienten erreicht werden können als bei der Filmkondensation [Cube 1997].

Das Kondensat bildet Tropfen, wenn die Wand glatt ist (geringe Rautiefe) und das Kondensat die Oberfläche nicht benetzt. Ist das Wandmaterial an sich durch das Kondensat benetzbar, kann durch das Aufbringen von Hydrophobiermitteln (Fette, Edelmetallschichten, PTFE) eine Tropfenkondensation erreicht werden. Es bilden sich zuerst kleine Tropfen, welche im Verlauf der Kondensation an Umfang zunehmen. Im Verlauf des Wachstums berühren sich benachbarte Tropfen irgendwann und es kommt aufgrund der Oberflächenspannung zu Tropfenzusammenschlüssen, wodurch ein Teil der Fläche für die Bildung neuer Tropfen wieder frei wird. Hat ein Tropfen eine Größe erreicht, bei der die Schwerkraft und/oder die Scherkräfte des Dampfes die Adhäsionskräfte des Tropfens überwiegen, beginnt der Tropfen abzurollen. Dabei wischt er alle in seiner Ablaufbahn

liegenden Tropfen ab, wodurch Platz für neues Tropfenwachstum entsteht [Wagner 1981; VDI 1991; Frank 1994; Kessler 1996; Cerbe 2002].

Diese Vorgänge werden auch beim wasserarmen Garen genutzt. Die Lebensmittel werden tropfnass in das Gargefäß gegeben und erhitzt. Der aufsteigende Wasserdampf kondensiert am Deckel des Gargefäßes in Form von Tropfen, diese lösen sich ab einer bestimmten Größe wieder ab und stehen dem System in Form von Wasser wieder zur Verfügung. Voraussetzung hierfür ist ein dicht schließender Deckel, um ein Austreten des Dampfes aus dem System zu verhindern [Loh 2003b].

Wärmestrahlung

Wärme kann ohne körperlichen Träger durch Strahlung übertragen werden. Die Energieübertragung erfolgt durch elektromagnetische Wellen. Als Wärmestrahlung wird die Strahlung bezeichnet, die außer vom Stoff des strahlenden Körpers nur von dessen Temperatur abhängt. Feste, flüssige und einige gasförmige Körper können Wärmestrahlung abgeben und aufnehmen [Cerbe 2002.]

Die höchste Strahlungsdichte emittiert ein *schwarzer* Körper. Dieser absorbiert andererseits auch die gesamte auffallende Strahlungsenergie und wandelt sie in Wärme um [Pichert 1995].

*Weiß*e Körper reflektieren alle auftreffenden Strahlen, während *graue* Körper von allen Wellenlängen denselben Bruchteil absorbieren [Pichert 1995].

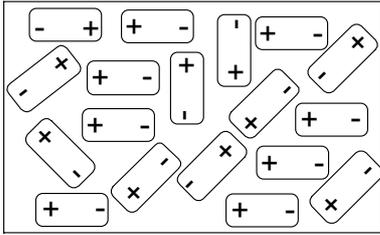
Auch manche Gase, wie z. B. der Wasserdampf, können Strahlung absorbieren und demnach, entsprechend dem Kirchhoffschen Gesetz, auch wieder Wärme ausstrahlen. [Wagner 1981; VDI 1991; Hering 1992; Cerbe 2002]. Dieser Effekt ist unter anderem auch Auslöser für den Treibhauseffekt, an dem vor allem der Wasserdampf mit einem Anteil von 62 % beteiligt ist [Amann 2000].

Im Bereich der Garverfahren ist Wärmeübertragung mittels Strahlung beim Backen, Braten und Grillen zu finden. Ein Heizleiter (z. B. Grillheizung) sendet energiereiche Wärmestrahlung ab, diese trifft auf das Gargut, wird absorbiert und regt die Moleküle an der Oberfläche zum Schwingen an, wodurch eine Erwärmung stattfindet [Wegner 2000].

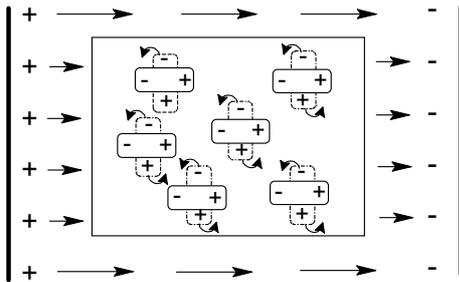
Mikrowellenstrahlung

Mikrowellen sind ebenso wie Wärmestrahlung elektromagnetische Wellen. Ihre Frequenz liegt für Haushaltszwecke bei 2450 MHz. Mikrowellen dringen in das Gargut ein, versetzen vor allem die Wassermoleküle in Schwingungen und die dabei entstehende Reibungswärme erhitzt das Lebensmittel.

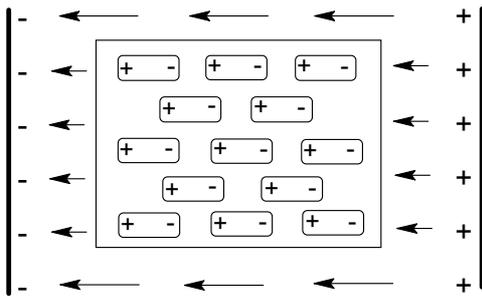
Die Wirkung der Mikrowelle beruht darauf, dass ein elektrisches Feld auf Ladungen Kräfte ausübt, welche eine Polarisierung elektrisch neutraler Moleküle im Gargut bewirken. Es bilden sich dabei Dipole (z. B. durch Ladungsverschiebung) oder vorhandene Dipole (z. B. Wassermoleküle) orientieren sich in Richtung des elektrischen Feldes, wie es z. B. zwischen zwei Kondensatorplatten entsteht. Die positiv geladene Seite des Moleküls wird dabei von der negativen Kondensatorplatte angezogen, die negative Seite von der positiven Platte. Kehrt sich das elektrische Feld um, drehen sich die Moleküle mit. Mikrowellen erzeugen ein elektrisches Wechselfeld. Die daraus resultierende ständige Drehung der Moleküle erzeugt die oben erwähnte Reibungswärme (siehe Abb. 2-1) [Pichert 1995; Wegner 2000].



a) ungeordnete Lage der Moleküle im Gargut



b) Drehung der Moleküle nach Anlegen eines elektrischen Feldes



c) vollständige Ausrichtung der Moleküle

Abb. 2-1: Polarisation von Molekülen in einem elektrischen Feld [modifiziert nach Wegner 2000]

Die Intensität der Wärmeentwicklung ist von mehreren Faktoren abhängig: Die *Stärke des Mikrowellenfeldes* wird von der Ausgangsleistung des Gerätes bestimmt. Sie beeinflusst die elektrische Feldstärke und somit die Kraft, die auf die Dipole einwirkt. Die Ausgangsleistung der heutigen Haushaltsgeräte liegt zwischen 600 und 1000 W.

Die *Frequenz der Mikrowellen* beeinflusst die Häufigkeit, mit der die Dipole im Gargut pro Sekunde bewegt werden. Sie ist bei Haushaltsmikrowellengeräten mit 2450 MHz fest vorgegeben.

Von großer Bedeutung sind die Eigenschaften des Gargutes, welche durch seine *Permittivität* und seinen *Verlustfaktor* gekennzeichnet sind. Die *Permittivitätszahl* (früher: Dielektrizitätszahl) macht eine Aussage über die Möglich-