Ein praktisches Handbuch des Sous-Vide Garens

Douglas E. Baldwin

Entwurf 0.4h

Montag, 20. April, 2009

Deutsche Übersetzung:



Addelice Ltd.

http://www.addelice.com

Haftungshinweis: Dieses Handbuch dient ausschließlich zu Informationszwecken. Douglas Baldwin übernimmt keinerlei Garantie, Gewährleistung oder Zusicherung über die Richtigkeit, Aktualität, Genauigkeit, Vollständigkeit und/oder Nützlichkeit irgendwelcher Informationen dieses Handbuchs - weder implizit noch ausdrücklich. Die hier vorliegenden Informationen können Fehler enthalten. Douglas Baldwin übernimmt keine Verantwortung oder Verpflichtung für die Benutzung dieses Handbuchs.

Addelice Ltd. ist für den Inhalt dieses Dokumentes nicht verantwortlich. Addelice Ltd. übernimmt keinerlei Garantie für die Aktualität, Genauigkeit, Vollständigkeit und/oder Nützlichkeit irgendwelcher Informationen dieses Handbuchs. Die hier vorliegenden Informationen können Fehler enthalten. Addelice Ltd. übernimmt keine Verantwortung oder Verpflichtung für die Benutzung dieses Handbuchs.

© Copyright der englischen Originalversion: Douglas Baldwin 2008, alle Rechte vorbehalten.

© Copyright der deutschen Übersetzung: Addelice Ltd., 2009, alle Rechte vorbehalten. Die hier vorliegende deutsche Übersetzung wurde ausdrücklich vom Autor des englischen Originaltextes genehmigt. Jegliche Form der Reproduktion, des Vertriebs, Weiterverkaufs ohne schriftliche Genehmigung von Addelice Ltd. ist ausdrücklich untersagt.

Vorwort

Sous vide ist französisch für „unter Vakuum“ und beschreibt eine Methode des langsamen Garens von Nahrungsmitteln in vakuumversiegelten Plastikbeuteln bei niedrigen Temperaturen. Mit der richtigen Ausrüstung und einigem grundlegendem Wissen kann jeder mit gleichbleibendem Erfolg köstliche und sichere Speisen zubereiten. Mit etwas fortgeschrittenerem Wissen kann ein Koch eigene Rezepte kreieren (oder bekannte Rezepte verändern) um eigene Vision zu verwirklichen.

Dieses Handbuch versucht die wissenschaftlichen Aspekte des Sous Vide Kochens herauszufiltern um jeden mit den notwendigen Mitteln auszustatten, um sicher eigene kreative Visionen zu realisieren. In Teil I werden Techniken und Sicherheitsaspekte des Sous Vide Kochens diskutiert. Einige beispielhafte Rezepte werden in Teil II vorgestellt. Die Mathematik des Sous Vide Kochens wird in Anhang A behandelt. Abschließend wird in Anhang B spezielle Sous Vide Ausrüstung vorgestellt.

Einleitung

Sous Vide ist eine Methode des langsamen Garens von Nahrungsmitteln in vakuumversiegelten Plastikbeuteln bei niedrigen Temperaturen. Sous vide unterscheidet sich von konventionellen Kochmethoden in zwei grundlegenden Dingen: (i) Die Nahrungsmittel werden in Plastikbeuteln vakuumversiegelt und (ii) die Nahrungsmittel werden mit genau kontrollierter Hitze gekocht.

Vakuumverpackungen verhindern Verdunstungsverluste von Aromastoffen und Feuchtigkeit während des Kochvorgangs und hemmen die Entstehung von Fremdaromen durch Oxidation (Church und Parsons, 2000). Daraus resultiert ein besonders geschmacksintensives und nahrhaftes Ergebnis (Church, 1998; Creed, 1998; García-Linares et al., 2004; Ghazala et al., 1996; Lassen et al., 2002; Schellekens, 1996; Stea et al., 2006). Des weiteren reduziert Vakuumieren aerobes bakterielles Wachstum und erlaubt eine effiziente Übertragung thermischer Energie vom Wasser (oder Dampf) auf die Nahrungsmittel.

Präzise Temperaturkontrolle ist wichtig bei der Zubereitung von Fisch, Fleisch und Geflügel. Betrachten wir das Problems ein dick geschnittenes Steak medium-rare zu braten. Wenn das Steak auf einem über 500ºC heißen Grill gebraten wird bis das Innere 50ºC erreicht, wird alles bis auf das Innere völlig überkocht sein. Eine übliche Lösung besteht darin das Steak auf beiden Seiten anzubraten und die Pfanne bei 135ºC in den Ofen zu stellen bis das Innere 55ºC erreicht. Bei der Sous Vide Zubereitung ist das Steak in einem Plastikbeutel einvakuumiert und wird bei 55ºC in einem Wasserbad für ein paar Stunden gegart und anschließend in einer rauchend heißen Pfanne oder mit einer Lötlampe angebraten; das Ergebnis ist ein medium-rare Steak mit einer großartigen Kruste, das überall den gleichen Gargrad aufweist. Des weiteren kann das geschmacksintensive Flat iron Steak (sehr sicher) in einem 55ºC Wasserbad für 24 Stunden zubereitet werden und wird sowohl medium-rare als auch zart wie ein Filet Mignon sein.

Teil I:
Techniken

1. Sicherheit

Unser Ziel ist die Maximierung des Geschmacks während das Risiko des Wachstums von Lebensmittelpathogenen minimiert werden soll. Obwohl pathogene Mikroorganismen durch Zugabe von Säuren, Salzen und einigen Gewürzen kontrolliert werden können, beruht das Sous Vide Verfahren stark auf der Kontrolle der Temperatur (Rybka- Rodgers, 2001).

Hintergrund

Der Mythos einer „Gefahrenzone“ von 4ºC bis 60ºC ist absurd. Es ist wohlbekannt, dass sich Lebensmittelpathogene zwischen -1,6ºC und 53ºC vermehren können, während Verderbnisbakterien bereits bei -5ºC beginnen sich zu vermehren (Snyder, 2006). Außerdem können, im Gegensatz zum weit verbreiteten Glauben, die meisten Lebensmittelpathogene und Toxine weder gesehen, gerochen noch geschmeckt werden.

Alle Nahrungsmittel, die mit dem Sous Vide Verfahren zubereitet werden, können in drei Kategorien eingeteilt werden: (i) roh oder umpasteurisiert (ii) pasteurisiert, und (iii) sterilisiert. Pasteurisation bedeutet Nahrungsmittel mit Hitze zu behandeln um die vegetativen Pathogene auf ein sicheres Niveau zu minimieren. Vegetative Pathogene sind einfach aktive Bakterien die wachsen und sich vermehren. Einige Bakterien sind auch in der Lage Sporen zu bilden, die gegen Hitze und Chemikalien resistent sind. Hitzebehandlung um vegetative Mikroorganismen und Sporen auf ein sicheres Niveau zu bringen heißt Sterilisation[1].

Pasteurisierte Lebensmittel müssen entweder sofort gegessen oder schnell gekühlt und eingefroren werden um Wachstum und Vermehrung von Sporen zu verhindern. Dabei sollte das Innere des Garguts innerhalb von 6 Stunden 54,4ºC erreichen, um zu verhindern, dass sich das toxinproduzierende Pathogen Clostridium perfrigens auf eine gefährliche Anzahl vermehrt (Willardsen et al., 1977).

Rohe oder unpasteurisierte Nahrung darf niemals sehr anfälligen Menschen oder solchen mit schwachem Immunsystem serviert werden. Selbst für Menschen mit einem starkem Immunsystem ist es wichtig, dass rohe oder unpasteurisierte Nahrung verzehrt wird, bevor Nahrungspathogene sich im kritischen Ausmaß vermehren können. Aus diesem Grund verlangt die Lebensmittelvorschrift der USA, dass solche Nahrungsmittel lediglich für weniger als 4 Stunden zwischen 5ºC und 54,4ºC bleiben dürfen (Anon., 2005b, 3-501.19.B).

Pasteurisierung ist eine Kombination von Temperatur und Zeit. Betrachten wir das häufig anzutreffende Lebensmittelpathogen Salmonella spp. Bei 60ºC sterben nicht alle Salmonellen Erreger in einem Stück Hackfleisch sofort – sie werden alle 5,48 Minuten um den Faktor 10 reduziert (Juneja et al., 2001). Dies wird häufig als dezimale Abnahme bezeichnet und in der Form $D_{60}^{6,0}$=5,48 Minuten geschrieben., wobei der tiefgestellte Zahl die Temperatur angibt, auf die sich der D-Wert bezieht und die hochgestellte Zahl den z-Wert beschreibt (in ºC). Der z-Wert gibt an, wie sich der D-Wert mit der Temperatur ändert; eine Temperaturerhöhung um den z-Wert, senkt die Zeit für eine dezimale Abnahme um den Faktor zehn. Also $D_{66}^{6,0}$ = 0,55 Minuten und $D_{54}^{6,0}$ = 54,8 Minuten. Rindfleisch wird nach 6,5 dezimalen Abnahmen von Salmonella spp. als sicher angesehen (Anon, 2005a) oder nach 6,5 x $D_{60}^{6,0}$ = 35,6 Minuten.

Die Rate mit der Bakterien absterben hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem von der Temperatur, Fleischsorte, Art des Muskelgewebes, Fettgehalt, Säuregehalt, Salzgehalt, bestimmten Gewürzen und dem Wassergehalt. Die Zugabe von Säuren, Salzen oder Gewürzen kann die Anzahl der vegetativen Pathogene reduzieren – aus diesem Grund muss Mayonnaise (mit einem pH-Wert von unter 4,1) nicht gekocht werden. Chemische Zusatzstoffe

1Sterilisation wird üblicherweise erreicht, indem man mithilfe eines Druckkochtopfes des Innere des Garguts auf 121ºC für 2,4 Minuten erhitzt (Snyder, 2006). Sterilisierte Nahrungsmittel sind lange haltbar, völlig überkocht und schmecken ähnlich wie Konservennahrung.

wie Natriumlaktat und Calciumlaktat werden in der Nahrungsmittelindustrie häufig verwendet, um das Risiko von sporenbildenden Pathogenen wie Clostridium spp. und Bacillus cereus zu reduzieren (Aran, 2001; Rybka-Rodgers, 2001).

Wichtige Krankheitserreger

Das Sous Vide Verfahren wird in der Lebensmittelindustrie zur Verlängerung der Haltbarkeit von Produkten verwendet; wenn pasteurisierte Sous Vide Beutel unter 3,3ºC gehalten werden, bleiben sie für drei bis vier Wochen sicher und genießbar (Armstrong und McIlveen, 2000; Betts und Gaze, 1995; Church, 1998; Creed, 1995; González- Fandos et al., 2004, 2005; Hansen et al., 1995; Mossel und Struijk, 1991; Nyati, 2000a; Peck, 1997; Peck und Stringer, 2005; Rybka-Rodgers, 2001; Simpson et al., 1994; Vaudagna et al., 2002).

Die einfachste und sicherste Methode des Sous Vide Kochens ist Kochen und Halten – die rohen (oder vorgekochten) Zutaten werden vakuumversiegelt, pasteurisiert und bei 54,4ºC oder darüber gehalten bis sie serviert werden. Während das Heißhalten von Nahrung das Wachstum jeglicher Erreger verhindert, werden Fleisch und Gemüse jedoch weiter gegart und können mit der Zeit breiig werden, falls sie zu lange gehalten werden. Wie lange zu lange ist hängt sowohl von der Temperatur als auch von der Art der Lebensmittel ab, die zubereitet werden; während zähe Stücke vom Rind durchaus in einem 54,4ºC heißen Wasserbad für 24-48 Stunden gekocht und gehalten werden können, können die meisten Produkte lediglich für 8-10 Stunden gehalten werden bevor sie zu weich werden.

Die beliebtesten Methoden des Sous Vide Kochens sind Kochen-Abkühlen und Kochen-Einfrieren – rohe (oder vorgekochte) Zutaten werden vakuumversiegelt, pasteurisiert, schnell abgekühlt (um die Sporenbildung von C. perfringens (Andersson et al., 1995)) zu verhindern und anschließend entweder gekühlt oder eingefroren bis sie zum Servieren wieder erwärmt werden. Üblicherweise werden die Beutel mit den pasteurisierten Lebensmitteln schnell abgekühlt, indem sie für die in Tabelle 1.1 angegebene Zeit, in ein Eisbad getaucht werden.

Für das Kochen-Abkühlen Sous-Vide Verfahren ist es wichtig, dass während des Kochvorgangs zumindest eine 6-fache dezimale Abnahme von Listeria monocytogenes erreicht wird; Listeria ist das hitzeresistenteste nicht-sporenbildende Pathogen und kann sich bei Kühlschranktemperaturen vermehren (Nyati, 2000b; Rybka-Rodgers, 2001). Außerdem verhindert die Versiegelung von Lebensmitteln in Plastikbeuteln zwar den Wiederbefall mit Bakterien nach dem Kochvorgang, jedoch können sowohl die Sporen von Clostridium botulinum sowie Clostridium perfringens und B. cereus die milde Hitzebehandlung der Pasteurisation überleben.

Daher müssen die Nahrungsmittel nach dem schnellen Abkühlen entweder eingefroren oder unter den folgenden Bedingungen aufbewahrt werden, um zu verhindern, dass sich die Sporen des nicht-proteolytischen Cl. botulinum zu stark vermehren und tödliches Nervengift produzieren (Gould, 1999; Peck, 1997).

1. unter 2,5°C für bis zu 90 Tage
2. unter 3,3°C für weniger als 31 Tage
3. unter 5°C für weniger als 10 Tage, oder
4. unter 7°C für weniger als 5 Tage.

Einige Sous-Vide Techniken verwenden Temperatur-/Zeitkombinationen, die den nicht-proteolytischen Cl. botulinum auf ein sicheres Niveau reduzieren können; genauer gesagt benötigt eine 6D Reduktion des *nicht-proteolytischen* Cl. *botulinum* 520 Minuten (8 Stunden 40 Minuten) bei 75ºC, 75 Minuten bei 80ºC oder 25 Minuten bei 85ºC (Fernández and Peck, 1999). Die Lebensmittel können dann bei unter 4ºC, der Minimaltemperatur bei der B. cereus wachsen kann (Andersson et al., 1995), auf unbestimmte Zeit gelagert werden. Falls kein Sauerstoff im Beutel wäre, könnte Nahrung bei unter 10ºC auf unbestimmte Zeit gelagert werden – der Minimaltemperatur, bei

der der *proteolytische* Cl. *botulinum* und Cl. perfringens wachsen können (Rybka-Rodgers, 2001).

Wie O'Mahony et al. (2004) herausgefunden haben, enthalten die meisten Beutel nach dem Vakuumiervorgang jedoch noch hohe Konzentrationen an Sauerstoff.

Abkühlzeiten auf 5ºC in Eiswasser

Dicke in mm	55ºC	60,5ºC	80ºC
5	1	1	1
10	4	4	5
15	10	10	11
20	17	18	20
25	27	28	30
30	38	40	43
35	52	54	59
40	1:07	1:10	1:17
45	1:25	1:28	1:37
50	1:45	1:49	1:59
55	2:07	2:11	2:24
60	2:30	2:36	2:51
65	2:56	3:03	3:21
70	3:24	3:31	3:53

Tabelle 1.1: Ungefähre Kühlzeiten (SS:MM) bis die Kerntemperatur von Fleisch in einem Eiswasserbad, das mindestens bis zur Hälfte mit Eis gefüllt ist, 5ºC erreicht.

2. Grundlegende Technik

Der Sous-Vide Prozess besteht typischerweise aus drei Schritten: Vakuumverpacken, Kochen und abschließende Maßnahmen.

In fast allen Fällen ist das Kochmedium entweder ein Wasserbad oder ein Dampf-Konvektionsofen. Dampf-Konvektionsöfen erlauben die Zubereitung großer Mengen von Nahrung, aber heizen nicht gleichmäßig genug um die Tabellen in diesem Handbuch verwenden zu können. Sheard und Rodger (1995) fanden heraus, dass keiner der Dampf-Konvektionsöfen, die sie getestet haben, die Beutel gleichmäßig erhitzt hat, wenn sie voll beladen waren. Tatsächlich hat der Beutel, der am langsamsten erwärmt wurde 70%-200% länger gebraucht als derjenige, der am schnellsten erhitzt wurde, um bei einer Betriebstemperatur von 80ºC eine Temperatursteigerung von 20ºC auf 75ºC zu erreichen. Sie glauben, dass diese Abweichung das Ergebnis der relativ schlechten Verteilung von Dampf bei Temperaturen unterhalb von 100ºC und der Abhängigkeit der Öfen von kondensiertem Dampf als Hitzeüberträger ist.

Im Gegensatz dazu heizen zirkulierte Wasserbäder sehr gleichmäßig und haben üblicherweise Temperaturschwankungen von weniger als 0,05ºC. Um ein „Unterkochen“ zu vermeiden ist es sehr wichtig, dass die Beutel vollständig eingetaucht und nicht zu dicht neben- oder übereinander angeordnet sind (Rybka-Rodgers, 1999). Bei höheren Kochtemperaturen blähen sich die Beutel oft auf (mit Wasserdampf) und müssen mit Hilfe eines Drahtgeflechts oder einer anderen Konstruktion unter Wasser gehalten werden.

Für das Vakuumieren vorbereiten

Würzen

Würzen kann etwas tückisch sein wenn man Sous-Vide kocht: Während viele Kräuter und Gewürze wie erwartet reagieren, werden andere verstärkt und können leicht zur Überwürzung eines Gerichts führen. Außerdem werden Aromaten (wie bspw. Karotten, Zwiebeln, Sellerie, Paprika, usw.) weder weich, noch aromatisieren sie das Gericht wie bei traditionellen Kochverfahren, da die Temperatur zu gering ist um die Stärke zu lösen und die Zellwände weich zu machen. Tatsächlich benötigen die meisten Gemüsesorten viel höhere Temperaturen als Fleisch und müssen daher getrennt gekocht werden. Letztlich, entwickelt roher Knoblauch sehr ausgeprägte und unangenehme Ergebnisse und sollte durch pulversierten Knoblauch (in sehr geringen Mengen) ersetzt werden.

Bei langen Kochzeiten (mehr als ein paar Stunden), empfinden manche, dass die Verwendung von Extra Vergine Olivenöl in einem ranzigen, metallischen Blutgeschmack resultiert (da Extra Vergine Olivenöl kalt gepresst wird, erscheint es logisch, dass einige Teile des Öls auch bei niedrigen Temperaturen ihren Geschmack verändern, sofern die Zeit lang genug ist). Eine einfache Lösung ist die Verwendung von Traubenkernöl oder anderer wärmebehandelter Öle für längere Kochzeiten; Extra Vergine Olivenöl kann dann für das Würzen nach dem Kochvorgang verwendet werden.

Marinieren, Weich machen, Pökeln

Da Fleisch heute jünger und magerer ist als das Fleisch in der Vergangenheit, marinieren, pökeln oder klopfen viele Köche das Fleisch weich, bevor es vakuumiert wird.

Die meisten Marinaden sind säurehaltig und enthalten entweder Essig, Wein, Fruchtsaft, Buttermilch oder Joghurt. Von diesen Zutaten, bereitet nur Wein nennenswerte Probleme beim Sous-Vide Garen. Wenn der Alkohol vor dem Marinieren nicht verkocht wird, werden einige Anteile davon im Beutel in den gasförmigen

Zustand übergehen und dazu führen, dass das Fleisch ungleichmäßig gart. Ein einfaches Verkochen des Alkohols vor dem Marinieren löst das Problem jedoch.

Das mechanische Weichmachen mit einem Jaccard ist recht gebräuchlich geworden. Ein Jaccard ist ein Satz dünner Klingen, die durch das Fleisch stoßen und einige der inneren Fasern durchtrennen. Der Jaccard hinterlässt üblicherweise keine sichtbaren Spuren am Fleisch und wird häufig in Steakhäusern verwendet.

Das Durchtrennen der Fasern, die sich normalerweise bei Hitze zusammenziehen und die Fleischsäfte herausdrücken, kann den Flüssigkeitsverlust während des Kochvorgangs leicht reduzieren. Beispielsweise verlor ein Kurzrippensteak bei einem 24stündigen Garvorgang bei 55ºC, das mit dem Jaccard behandelt wurde, 18,8% seines Gewichts, während ein unbehandeltes Steak 19,9% verlor. Grundsätzlich geht umso mehr Flüssigkeit verloren je länger ein Stück Fleisch bei einer bestimmten Temperatur gekocht wird – jedoch wird dieser Gewichtsverlust durch die Zunahme an Zartheit durch die Verwandlung von Kollagen in Gelatine wieder ausgeglichen.

Pökeln ist in der modernen Küche immer beliebter geworden, insbesondere bei der Zubereitung von Schwein und Geflügel. Üblicherweise wird das Fleisch für ein paar Stunden in eine 3-10 prozentige (30-100 Gramm pro Liter) Salzlösung eingelegt, anschließend abgewaschen und dann wie gewohnt gekocht. Pökeln hat zwei Effekte: Es löst einige der unterstützenden Strukturen der Muskelfasern auf, so dass sie nicht zu dichten Einheiten verschmelzen können und es ermöglicht dem Fleisch 10-25% seines Gewichts an Wasser (das Aromen von Kräutern und Gewürzen enthalten kann) aufzunehmen (Graiver et al., 2006; McGee, 2004). Während das Fleisch dennoch ungefähr 20% seines Gewichts verlieren wird wenn es zubereitet wird, wird der Nettoeffekt ein Verlust von lediglich 0-12% seines Originalgewichts sein.

Kochen

Es gibt zwei Strömungen beim Sous-Vide Kochen: Entweder ist die Temperatur des Wasserbads (i) leicht über oder (ii) erheblich über der gewünschten Endtemperatur im Kern des Produktes. Während (ii) näher an traditionellen Kochverfahren und weit verbreitet ist (Roca and Brugués, 2005), hat (i) mehrere entscheidende Vorteile gegenüber (ii). In diesem Handbuch wird „leicht darüber“ als 0,5ºC über der Zieltemperatur im Kern des Produktes definiert.

Wenn in einem Wasserbad mit einer erheblich höheren als der gewünschten Zieltemperatur im Kern des Produktes gekocht wird, müssen die zubereiteten Nahrungsmittel aus dem Bad entfernen sobald die Kerntemperatur erreicht wurde, um ein Überkochen zu vermeiden. Dies schließt eine Pasteurisierung im gleichen Wasserbad, in dem die Nahrungsmittel gekocht wurden, aus. Da es erhebliche Unterschiede in der Aufheizgeschwindigkeit von Nahrung gibt (siehe Anhang A), muss ein Nadeltemperaturfühler verwendet werden, um festzustellen, wann das Produkt die gewünschte Temperatur erreicht hat. Um zu verhindern, dass Wasser oder Luft in den durchstochenen Beutel eindringt, muss der Temperaturfühler durch ein geschlossenzelliges Schaumstoffband eingeführt werden. Selbst wenn ein geschlossenzelliges Schaumstoffband verwendet wird (welches einem vorkomprimierten Fensterdichtband ähnelt), wird Luft in den Beutel eindringen können, sobald der Temperaturfühler entfernt wird.

Im Gegensatz dazu können Nahrungsmittel, die in einem Wasserbad mit einer Temperatur, die nur leicht oberhalb der gewünschten Zielkerntemperatur des Produktes liegt, (nahezu) unbegrenzt lange im Wasserbad bleiben ohne zu überkochen. In diesem Fall können Nahrungsmittel im selben Wasserbad pasteurisiert werden, in dem es zubereitet wurde. Während die Garzeiten länger als bei traditionellen Kochmethoden sind, erreicht das

Fleisch die Temperatur relativ schnell, da die Wärmeleitfähigkeit von Wasser 23 mal größer ist als die von Luft. Außerdem sind Temperaturfühler nicht notwendig, da die maximalen Garzeiten berechnet werden können (siehe Anhang A und Tabellen 2.3 und 2.4)

Effekte von Hitze auf Fleisch

Muskelfleisch besteht ungefähr zu 75% aus Wasser, zu 20% aus Eiweiß und zu 5% aus Fett und anderen Substanzen. Das Fleischeiweiß kann in drei Gruppen eingeteilt werden: myofibrilläres (50–55%), sarkoplasmatisches (30–34%) und das des Bindegewebes (10–15%). Das myofibrilläre Eiweiß (hauptsächlich Myosin und Actin) und das Bindegewebseiweiß (hauptsächlich Kollagen) ziehen sich zusammen, wenn sie erhitzt werden, während sich sarkoplasmatische Eiweiße ausdehnen wenn sie erhitzt werden. Diese Veränderungen werden normalerweise als Denaturierung bezeichnet.

Während des Erhitzens schrumpfen die Muskelfasern in Quer- und in Längsrichtung, die sarkoplasmatischen Eiweiße verbinden sich und gelieren und das Bindegewebe schrumpft und löst sich auf. Die Muskelfasern beginnen bei 35-40ºC zu schrumpfen und das Schrumpfen verstärkt sich fast linear mit der Temperatur bis 80ºC. Die Verbindung und Gelierung des sarkoplasmatischen Eiweißes beginnt bei ca. 40ºC und endet bei ca. 60ºC. Bindegewebe beginnt bei 60ºC zu schrumpfen, aber zieht sich bei 65ºC noch stärker zusammen.

Die Kapazität ganzer Muskelfasern Wasser aufzunehmen wird durch das Schrumpfen und Schwellen der Myofibrillen bestimmt. Ungefähr 80% des Wassers im Muskelfleisch wird innerhalb der Myofibrillen zwischen den dicken (Myosin) und den dünnen (Actin) Fasern gespeichert. Zwischen 40ºC und 60ºC schrumpfen die Muskelfasern in Querrichtung und vergrößern die Lücke zwischen den Fasern. Danach, zwischen 60°C–65°C, schrumpfen die Muskelfasern in Längsrichtung und verursachen einen erheblichen Wasserverlust; das Ausmaß dieser Kontraktion nimmt mit der Temperatur zu.

Über der Temperatur bei welcher Kollagen schrumpft, verliert es seine Struktur und wird wasserlöslich, man nennt es dann Gelatine. Während die optimale Temperatur zur Denaturierung von intaktem Kollagen 62-63°C beträgt (bei Fisch setzt die Schrumpfung bei 45°C ein), erreicht die enzymatische Denaturierung durch Kollagenase bei 55-57°C ihren Höhepunkt Beltran et al., 1991).

Zartes Fleisch

Wenn zartes Fleisch gekocht wird, muss lediglich die Kerntemperatur erreicht werden, und zum Zweck der Pasteurisierung für einige Zeit gehalten werden. Garzeiten hängen stark von der Dicke des Fleisches ab: Eine Verdopplung der Dicke des Fleisches verlängert die Kochzeit vierfach!

Obwohl es keinen Konsens gibt, welche Temperaturen den Garstufen blutig, englisch und medium entsprechen, werden hier die in Tabelle 2.2 dargestellten Temperaturen verwendet. Grundsätzlich nimmt die Zartheit von Fleisch von 50ºC bis 65ºC zu, nimmt dann aber bis 80ºC ab (Powell et al., 2000; Tornberg, 2005). Die ungefähren Garzeiten für aufgetautes und gefrorenes Fleisch sind in den Tabellen 2.3 und 2.4 dargestellt. Eine detaillierte Diskussion über die Methode mit der diese Zeiten berechnet wurden, finden Sie in Anhang A.

Wenn die Nahrungsmittel nicht pasteurisiert werden (was der Fall bei Fisch und blutigem Fleisch ist), ist es wichtig, dass die Nahrungsmittel die Zieltemperatur erreichen und innerhalb von vier Stunden serviert werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kochtechniken kann dies leicht durch das Zerteilen des Produktes in Einzelportionen vor dem Kochvorgang erledigt werden – aus diesem Grund werden Garzeiten über vier Stunden für Temperaturen unter 55ºC hier nicht angegeben. Es ist wichtig, dass nur Menschen mit einem intakten Immunsystem unpasteurisierte Speisen zu sich nehmen und, dass sie sich der Risiken, die mit dem Genuss unpasteurisierter Nahrung verbunden sind, bewusst sind.

Zähes Fleisch

Seit dem Altertum werden lange Garvorgänge (z.B. Schmoren) eingesetzt um zähe Fleischstücke genießbarer zu machen. Tatsächlich können lange Garvorgänge die Zartheit des Fleisches mehr als verdoppeln, indem das gesamte Kollagen in Gelatine aufgelöst wird und die Haftung zwischen den Fasern fast komplett aufgehoben wird (Davey et al., 1976). Davey et al. (1976) fanden heraus, dass diese Effekte bei 80ºC in einem Zeitraum von ca. 12-24 Stunden stattfinden, während die Zartheit nur geringfügig anstieg, wenn für 50 bis 100 Stunden gekocht wurde.

Bouton und Harris (1981) fanden heraus, dass zähe Fleischstücke vom Rind (von 0- bis 4-jährigen Tieren) am zartesten waren, wenn sie bei niedrigeren Temperaturen zwischen 50ºC und 65ºC gegart wurden. Bei Garvorgängen von Rind mit diesen Temperaturen über 24 Stunden, wurde die Zartheit erheblich erhöht (bei einer Reduktion der Scherkräfte um 26%-72% im Vergleich zu einer Garzeit von einer Stunde). Diese Veränderung wird durch eine Schwächung des Bindegewebes sowie durch proteolytische Enzyme bewirkt, welche die Reißfestigkeit der Muskelfasern herabsetzen. Tatsächlich beginnt die Zersetzung von Kollagen in Gelatine bei 50ºC bis 55ºC (Neklyudov, 2003; This, 2006). Außerdem bleibt das sarkoplasmatische Enzym Kollagenase unterhalb von 60ºC aktiv und kann das Fleisch erheblich zarter machen, wenn es für mehr als 6 Stunden wirken kann (Tornberg, 2005). Aus diesem Grund hat ein Rinderkurzrippensteak nach einem 24-48 stündigen Garvorgang in einem 55ºC-60ºC heißen Wasserbad die Textur eines Filet Mignon.

Für späteren Verzehr kühlen

In der Lebensmittelindustrie wird Sous-Vide verwendet, um die Haltbarkeit von Produkten zu verlängern. Nach dem Pasteurisieren werden die Nahrungsmittel rasch in ihrem Vakuumbeutel abgekühlt und anschließend bis zum Gebrauch kühl gelagert (oder eingefroren). Vor dem Anrichten wird das Produkt in einem Wasserbad bei der Temperatur bei der es gekocht wurde, oder darunter, aufgewärmt. Üblicherweise wird Fleisch in einem 55ºC heißen Wasserbad für die in den Tabellen 2.3 oder 2.4 angegebene Zeit aufgewärmt, da die optimale Serviertemperatur für Fleisch zwischen 50ºC und 55ºC liegt.

Die Gefahr beim Kochen-Abkühlen besteht darin, dass Pasteurisieren pathogene Sporen nicht auf ein sicheres Ausmaß reduziert. Wenn die Nahrung nicht schnell genug abgekühlt wird oder zu lange gekühlt wird, können pathogene Sporen sich vermehren und ein kritisches Ausmaß erreichen. Richtlinien für das Kühlen finden sich in Kapitel 1.

	Blutig (rare)	*Englisch (medium-rare)*	*Medium (medium)*
Fleisch	51,5ºC	54,5°C	60°C
Fisch	43,5°C	49°C	60°C

Tabelle 2.2: Temperaturen für die Garstufen blutig, englisch und medium bei Fleisch und Fisch.

Garzeiten ab 3ºC

Dicke (mm)	44ºC	49,5ºC	52ºC	55ºC	60,5ºC
5	2	2	2	2	2
10	7	8	8	8	8
15	17	17	17	18	18
20	30	30	31	31	32
25	46	47	48	48	49
30	1:06	1:08	1:09	1:09	1:11
35	1:30	1:32	1:33	1:34	1:36
40	1:57	2:00	2:02	2:03	2:06
45	2:28	2:32	2:34	2:35	2:38
50	3:02	3:07	3:10	3:12	3:16
55	3:40	3:46	3:49	3:51	3:56
60	—	—	—	4:35	4:41
65	—	—	—	5:23	5:30

Tabelle 2.3: Ungefähre Garzeiten (in SS:MM) für aufgetautes Fleisch (bei 3ºC) wenn die Temperatur des Wasserbads 0,5ºC höher ist als die gewünschte Kerntemperatur des Fleisches.

Garzeiten ab -18ºC

Dicke (mm)	44ºC	49,5ºC	52ºC	55ºC	60,5ºC
5	2	2	2	2	2
10	9	9	9	9	9
15	21	21	21	21	21
20	37	37	37	37	38
25	58	58	58	58	58
30	1:23	1:23	1:23	1:24	1:24
35	1:52	1:53	1:53	1:54	1:54
40	2:27	2:27	2:28	2:28	2:29
45	3:05	3:07	3:07	3:08	3:09
50	3:48	3:50	3:51	3:51	3:53
55	4:36	4:38	4:39	4:40	4:42
60	—	—	—	5:33	5:35
65	—	—	—	6:31	6:33
70	—	—	—	7:33	7:36

Tabelle 2.4: Ungefähre Garzeiten (SS:MM) für gefrorenes Fleisch (bei -18ºC), wenn die Temperatur des Wasserbads 0,5ºC höher ist als die gewünschte Kerntemperatur des Fleisches.

Servierfertig zubereiten

Da Sous-Vide eigentlich ein stark überwachtes und genaues Pochieren ist, sehen die meisten Sous-Vide gegarten Lebensmittel auch wie pochiert aus. Daher können Fisch, Schalentiere, Eier, Geflügel ohne Haut direkt serviert werden. Steaks und Schweinefilets werden jedoch normalerweise nicht pochiert und müssen daher üblicherweise angebraten oder in Sauce geschwenkt werden. Das Anbraten von Fleisch ist besonders beliebt, da die Maillard Reaktion (das Rösten) erheblich zum Geschmack beiträgt.

Maillard Reaktion

Die Maillard- oder Röst Reaktion ist ein sehr komplexer Vorgang zwischen Aminosäuren und reduzierenden Zuckern. Nach der ersten Reaktion bildet sich eine vorläufige, instabile Struktur, die weiteren Veränderungen unterworfen ist und hunderte von Nebenprodukten erzeugt.

Siehe McGee (2004) für eine nicht-technische Beschreibung oder Belitz et al. (2004) für eine technische Beschreibung.

Der Geschmack von gegartem Fleisch kommt von der Maillard Reaktion und dem (oxidativen) Abbau von Lipiden (Fetten); Der charakteristische Geschmack verschiedener Fleischsorten hängt hauptsächlich vom Fettgewebe ab, während die Maillard Reaktion in den mageren Gewebeschichten die wohlschmeckenden Röstaromen erzeugt (Mottram, 1998). Die Maillard Reaktion kann durch die Zugabe von reduzierenden Zuckern (Glukose, Fruktose oder Laktose), durch die Erhöhung des pH-Wertes (z.B. durch die Zugabe von etwas Backpulver) oder durch die Erhöhung der Temperatur verstärkt werden.

Sogar ein kleiner Anstieg des pH-Wertes, kann die Maillard Reaktion sehr verstärken und resultiert in süßeren, nussigeren Fleischröstaromen (Meynier und Mottram, 1995). Es wurde nachgewiesen, dass die Zugabe von etwas Glukose (z.B. Maissirup) die Maillard Reaktion verstärken und das Geschmacksprofil verbessern kann (Meinert et al., 2009). Die Maillard Reaktion tritt sichtbar bei ca. 130ºC ein, produziert aber eher ein Koch- als ein Röstaroma; eine gute Bräunung und Röstaroma kann bei Temperaturen um die 150ºC mit der Zugabe von Glukose erzielt werden. (Skog, 1993).

Obwohl höhere Temperaturen die Maillard Reaktion erheblich verstärken, kann ein langes Erhitzen über 175ºC die Entstehung von Mutagenen fördern.

Mutagene die durch die Maillard Reaktion entstehen (heterozyklische Amine) sind nachgewiesenermaßen krebserregend bei Mäusen, Ratten und nicht-menschlichen Primaten; einige epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang mit der Entwicklung von Krebs beim Menschen gezeigt, andere konnten keinen Zusammenhang feststellen (Arvidsson et al., 1997).
Diese Mutagene hängen stark von Temperatur und Zeit ab: sie nehmen fast linear zu, nachdem sie beginnen sich zu bilden (nach ca. 5-10 Minuten); ein Ansteigen der Temperatur von 25ºC (von 150ºC bis 175ºC oder von 175ºC bis 200ºC) verdoppelt ungefähr die Anzahl der Mutagene (Jägerstad et al., 1998). Während die Zugabe von Glukose die Bräunung erhöht, kann es die Entstehung von Mutagenen verhindern (Skog, 1993; Skog et al., 1992). Die Art des Fettes, das zum Anbraten verwendet wird hat nur geringe Effekte auf die Bildung von Mutagenen, wobei in den Pfannenrückständen nach Benutzung von Butter wesentlich mehr Mutagene zu finden waren als nach der Verwendung von Pflanzenöl (Johansson et al., 1995).

Um ein Übergaren des Fleischinneren zu vermeiden, werden häufig sehr hohe Temperaturen verwendet um Sous-Vide gegartes Fleisch zu bräunen. Üblicherweise wird dazu entweder eine Lötlampe oder eine schwere Pfanne mit rauchendem Pflanzenöl verwendet. Butan und Propan Lötlampen können über 1.900ºC erreichen und bewirken eine besonders schöne Kruste bei Rindfleisch; Während viele eine Propan Lötlampe verwenden, wird hier stark eine Iwatani Butan Lötlampe empfohlen, da Propan einen Beigeschmack hinterlassen kann. Der Autor bevorzugt die niedrigeren Temperaturen einer Pfanne mit rauchendem Pflanzen- oder Nußöl (200ºC bis 250ºC), beim Anbraten von Fisch, Geflügel oder Schwein. Da die Röstzeit bei diesen hohen Temperaturen sehr gering ist (5-30 Sekunden), ist die Bildung von Mutagenen vermutlich unerheblich (Skog, 2009).

Teil II:
Rezepte

3. Fisch und Schalentiere

Fisch ist sehr gut für das Sous-Vide Garen geeignet. Da Sous-Vide den natürlichen Geschmack des Fischs hervorbringt ist es wichtig nur sehr frischen Fisch, der noch nach Meer riecht, zu verwenden. Beim Einkauf von Fisch, sollte das Fleisch glänzend, saftig und beim Berühren fest sein; lassen Sie den Fisch von Ihrem Fischhändler mit Eis verpacken und lagern Sie den Fisch in Ihrem Kühlschrank auf Eis. Überprüfen Sie den Fisch auf Gräten oder Knorpel und entfernen Sie diese erst vor der Zubereitung (mit einer Spitzzange oder Pinzette).

Die meisten Fische und Schalentiere werden am besten medium (60ºC) bis englisch (49ºC) gekocht. Die Ausnahmen sind Seesaibling und Lachs, die am besten englisch (49ºC) zubereitet werden sollten und Thunfisch, der am besten blutig (43,5ºC) bis sehr blutig (38ºC) zubereitet werden sollte.

Fisch, der Menschen mit geschwächtem Immunsystem serviert oder gekühlt gelagert (z.B. nach dem Kochen/Kühlen) werden soll, sollte mindestens für die in Tabelle 3.5 angegebenen Zeiten pasteurisiert werden (um eine 6D Verminderung von Listeria monocytogenes zu erreichen). Während eine solche Pasteurisierung alle nicht-sporenformenden Pathogene und Parasiten auf ein sicheres Maß reduziert, kann diese nicht das Risiko einer Hepatitis A oder Norovirus Infektion durch Schalentiere reduzieren. Da eine 4D Verminderung von Hepatitis A Erregern in Schalentieren ein Halten der Kerntemperatur auf 90ºC für 1,5 Minuten erfordert, kann das Risiko einer Ansteckung am besten durch die richtigen Hygienemaßnahmen kontrolliert werden (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food, 2008). Da die Sporen des nichtproteolytischen Cl. botulinum durch Pasteurisierung nicht unschädlich gemacht werden, sollte der Fisch nicht länger als drei oder vier Wochen bei weniger als 3,3ºC gelagert werden.

Pasteurisierzeiten ab 5°C

	Magere Fische			Fette Fische		
Dicke (mm)	55ºC	57,5ºC	60,5ºC	55ºC	57,5ºC	60,5ºC
5	2:18	50	16	3:54	1:27	27
10	2:22	55	21	4:00	1:32	32
15	2:31	1:04	30	4:08	1:40	41
20	2:42	1:16	41	4:20	1:52	53
25	2:58	1:31	56	4:35	2:07	1:08
30	3:16	1:50	1:12	4:53	2:26	1:25
35	3:38	2:11	1:31	5:15	2:48	1:45
40	4:03	2:35	1:52	5:40	3:13	2:08
45	4:31	3:01	2:14	6:09	3:40	2:32
50	5:02	3:29	2:39	6:40	4:10	2:58
55	5:36	4:00	3:05	7:15	4:43	3:27
60	6:12	4:32	3:33	7:52	5:18	3:57
65	6:51	5:07	4:03	8:33	5:55	4:29
70	7:33	5:44	4:35	9:16	6:34	5:03

Tabelle 3.5: Pasteurisierzeiten (SS:MM) für eine 6D Verminderung von Listeria monocytogenes bei Fisch. Magerer Fisch (wie Dorsch) hat $D_{60}^{5,59} = 2,88$ Minuten, während fetter Fisch (wie Lachs) hat $D_{60}^{5,68} = 5,13$ Minuten (Embarek und Huss, 1993).

Pochierter Fisch

- Fischfilets (Dorsch, Snapper, Seeteufel, Wolfsbarsch, Mahi-Mahi, etc.)
- Salz und Pfeffer
- Knoblauchpulver (bei Bedarf)
- Olivenöl

Haut von den Filets entfernen. Filets mit grobkörnigem Salz / Meersalz, schwarzem Pfeffer und etwas Knoblauchpulver würzen. Anschließend die Filets einzeln mit 1-2 Esslöffeln Olivenöl oder Butter vakuumieren.

Gemäß der Dicke des dicksten Fischfilets, die Beutel in einem 55ºC-60,5ºC heißen Wasserbad für die in Tabelle 3.5 angegebene Zeit kochen.

Nachdem die Filets aus dem Wasserbad entfernt wurden, kann der Fisch entweder sofort serviert werden (evtl. nach einem kurzen Anbraten in einer heißen Pfanne mit heißem Öl) oder schnell

in einem Eiswasserbad abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und entweder eingefroren oder für drei bis vier Wochen unter 3,3ºC gelagert werden. Es ist zu beachten, dass Fagan und Gormley (2005) herausgefunden haben, dass Einfrieren die Qualität von Sous-Vide gekochtem Fisch nicht beeinträchtigt.

Lachs 'Mi-Cuit'

Obwohl Lachs Mi-Cuit unter Sous-Vide Enthusiasten ein beliebtes Gericht ist, sollte es niemals Personen mit geschwächtem Immunsystem serviert werden. Die niedrigen Temperaturen in diesem Rezept reichen nicht aus, um die Nahrungsmittelpathogene und -parasiten in genügendem Ausmaß zu reduzieren. Da das Vorkommen des Parasiten Anisakis simplex in mehreren Sorten frischem, kommerziell angebotenem U.S.- Wildlachs 75% übersteigen kann (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food, 2008), wird empfohlen den Fisch entweder einzufrieren (unter -20ºC für mindestens 24 Stunden) um die Parasiten abzutöten oder den Fisch gemäß der Angaben in Tabelle 3.5 zu pasteurisieren.

Die Textur von Sous-Vide zubereitetem Lachs ist sehr saftig und zart. Um einen guten Kontrast zu dieser Textur herzustellen, sollte die Haut vor dem Vakuumieren entfernt, kross gebraten und als Garnitur serviert werden.

Ein häufig auftretendes Problem bei der Zubereitung von Lachs ist das Austreten des Proteins Albumin, das unansehnlich auf der Oberfläche des Fischs gerinnt. Dies kann einfach vermieden werden, indem der Fisch für 10 Minuten in einer 10-prozentigen Salzlake gepökelt wird.

- Lachs (Coho, Sockeye, Chinook oder Steelhead)
- Olivenöl
- Salz und Pfeffer
- Knoblauchpulver (bei Bedarf)

Die Temperatur des Wasserbads für sehr rohen Lachs auf 38,5ºC, für roh-medium/rohen auf 47ºC oder für medium-medium/rohen auf 52ºC einstellen. Anschließend eine 10-prozentige Salzwasserlösung vorbereiten (100 Gramm Salz auf 1 Liter kaltes Wasser).

Um die Haut als Kontrast zu der sehr saftigen und zarten Struktur des Lachses kross zu braten, die Haut vom Lachs entfernen und den Lachs im Kühlschrank für 10 Minuten pökeln.

Wenn der Lachs medium oder medium/roh zubereitet wird, besteht die einfachste Art die Haut kross zu braten und sie vom Lachs zu lösen darin, den Lachs (nur auf der Hautseite) in einer Pfanne bei großer Hitze mit rauchendem Öl schnell anzubraten. Die Haut lässt sich anschließend leicht vom Fleisch lösen. Die Haut kann anschließend mit einer Lötlampe vollendet werden oder einfach bis zum Verzehr in einem warmen Ofen platziert werden.

Lachs nach dem Pökeln waschen und mit Papiertüchern trocken tupfen. Mit Salz und Pfeffer und einer Spur Knoblauchpulver würzen. Den gewürzten Lachs in einem Plastikbeutel mit 1-2 Esslöffeln Extra-Vergine Olivenöl vakuumieren (welches über Nacht eingefroren wurde, falls ein Bügelvakuumiergerät verwendet wird).

Lachs für die in Tabelle angegebenen Zeiten garen, mit der knusprigen Lachshaut garnieren und sofort servieren.

Garzeiten ab 5ºC

Dicke (mm)	38,5ºC	47ºC	52ºC
5	2	2	2
10	7	7	7
15	15	16	16
20	26	28	28
25	41	43	44
30	59	1:02	1:03
35	1:20	1:24	1:25
40	1:44	1:49	1:51
45	2:11	2:18	2:21
50	2:42	2:49	2:53
55	3:16	3:25	3:30

Tabelle 3.6: Garzeiten für aufgetauten Lachs roh, roh-medium-roh und medium-medium/roh in SS:MM. Bei diesen Zeit-/Temperaturkombinationen wird der Lachs nicht pasteurisiert und sollte niemals Personen mit geschwächtem Immunsystem serviert werden.

4. Geflügel und Eier

Hühnchen- oder Putenbrust

Aus Sicherheitsgründen wird Geflügelfleisch üblicherweise gut durchgebraten (70ºC bis 80ºC). Wenn Hühnchen oder Putenbrust Sous-Vide gegart werden, können sie medium zubereitet werden (60ºC bis 65ºC) und trotzdem sicher pasteurisiert werden.

- Hühnchen- oder Putenbrust ohne Knochen
- Salz und Pfeffer

Haut von der Brust entfernen und als Garnitur aufheben oder wegwerfen. Die abgelöste Haut kann einfach mit einem Salamander/Bratrost oder mit einer Lötlampe kross gebraten werden.

Wenn das Fleisch gepökelt werden soll, Geflügel in einer 5 prozentigen Salzwasserlösung (50 Gramm auf 1 Liter) für 30 Minuten bis 1 Stunde in den Kühlschrank stellen. (Falls ein Jaccard verwendet werden soll, sollte dies vor dem Pökeln geschehen).

Spülen und mit Papiertüchern trocken tupfen. Anschließend mit grobkörnigem Salz/Meersalz und grob gemahlenem Pfeffer würzen. Fleischstücke vakuumieren (eines pro Beutel). Die Beutel können nun eingefroren werden bis sie benötigt werden.

Um zu garen und zu pasteurisieren, die (aufgetauten) Beutel für die in Tabelle 4.7 angegebenen Zeiten in ein 63,5ºC heißes Wasserbad legen. [Nach dem Garen kann das Fleisch rasch in Eiswasser abgekühlt werden (siehe Tabelle 1.1) und eingefroren oder unter 3,3ºC für drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch kühl gelagert werden.]

Das Geflügel aus den Plastikbeuteln nehmen und mit Papiertüchern trocken tupfen. Das Fleisch kann anschließend so wie es ist serviert werden oder in einer sehr heißen Pfanne (mit gerade rauchendem Öl) oder einer Lötlampe angebraten werden. Sofort servieren (mit knuspriger Haut garniert).

Puten-, Enten- oder Gänsekeulenconfit

- Enten-, Gänse- oder Putenkeule
- Ausgelassenes Enten- oder Gänsefett (oder Schmalz)
- Salz und Pfeffer

Die Keulen für drei bis sechs Stunden in einer 5- bis 10-prozentigen Salzlake pökeln (50-100 Gramm Salz pro Liter). Die Lake kann mit Thymianzweigen, Lorbeerblättern, Knoblauch und Orangen- oder Zitronenspalten aromatisiert werden.

Die Keulen nach dem Pökeln spülen und mit Papiertüchern trocken tupfen. Mit grobkörnigem Salz/Meersalz und groben Pfeffer würzen. Die Keulen einzeln mit 2 bis 4 Esslöffeln ausgelassenem Fett vakuumieren.

Die vakuumierten Keulen für 8 bis 12 Stunden in ein 80ºC heißes Wasserbad legen. Da ein Teil der Flüssigkeit im Beutel den Aggregatszustand ändern wird (zu gasförmig), wird sich der Beutel aufblähen und eventuell an die Oberfläche treiben. Um ein ungleichmäßiges Garen zu vermeiden, sollten die Beutel mit einem Drahtgestell oder einer anderen Halteeinrichtung unter Wasser gehalten werden. [Nach dem Garen können die Keulen rasch in Eiswasser abgekühlt werden (siehe Tabelle 1.1) und eingefroren oder unterhalb von 4ºC unbegrenzt lange aufbewahrt werden.]

Zum Servieren (wieder erwärmen und) anbraten bis die Haut knusprig ist. Kann auch ohne Haut und in Stücke gerissen serviert werden.

Das perfekte Ei

Die cremeartige Textur des Eiweißes und des Dotters des sogenannten „perfekten Eis“ wird durch die Denaturierung des Ei Proteins Conalbumin bei 64,5ºC erreicht. In Abbildung 4.1 kann man sehen wie die Denaturierung des Proteins Ovotransferrin bei 62ºC das Eiweiß gerinnen lässt (This, 2006, Kapitel 3).

Ei für 45 Minuten bis eine Stunde in ein 64,5ºC heißes Wasserbad legen. Ei aufschlagen und sofort servieren.



Abbildung 4.1: Bilder von ganzen Eiern die in einem Wasserbad für 75 Minuten bei Temperaturen von 57,8ºC bis 66,7ºC gekocht wurden. Von links nach rechts und oben nach unten war die Wasserbadtemperatur 57,8ºC, 58,9ºC, 60,0ºC,..., 66,7ºC.

Pasteurisierzeiten ab 5ºC

Dicke (mm)	57,5ºC	60,5ºC	63,5ºC	66ºC
5	1:40	31	10	5
10	1:45	36	15	10
15	1:53	44	23	17
20	2:04	55	34	26
25	2:18	1:09	46	38
30	2:35	1:25	1:01	51
35	2:55	1:44	1:17	1:05
40	3:18	2:05	1:36	1:22
45	3:44	2:28	1:56	1:40
50	4:12	2:54	2:17	1:59
55	4:43	3:20	2:41	2:20
60	5:16	3:49	3:06	2:43
65	5:52	4:20	3:32	3:07
70	6:29	4:52	4:01	3:33

Tabelle 4.7: Benötigte Zeit für eine 6D Reduktion von Listeria monocytogenes in aufgetautem Geflügel in einem 57,5ºC bis 66ºC heißen Wasserbad. Diese Zeiten wurden mit einem log D-Wert = 11,37 - 0.1766T°C was gleichbedeutend mit $D_{60}^{5.66}$ = 5,94 Minuten ist (Berechnung erfolgte mittels linearer Regression von Tabelle 2 aus (O'Bryan et al., 2006)). Siehe Anhang A für weitere Informationen über die Berechnung von log Reduktionen.

In der Schale pasteurisiertes Ei

Obwohl nur 1 von 10.000-20.000 Eiern mit intakter Schale eine gefährliche Anzahl von Salmonella enteritidis (McGee, 2004; Snyder, 2006) enthält, waren Eier der Güteklasse A die Ursache für 82% der Ausbrüche zwischen 1985 und 1991 (Mishu et al., 1994). Daher sollten stets pasteurisierte Eier in Rezepten verwendet werden, in denen rohe Eier vorkommen (z.B. Mousse au Chocolat) wenn für anfällige Personen oder Personen mit geschwächtem Immunsystem gekocht wird.

Ei für mindestens 1 Stunde und 15 Minuten in ein 57ºC heißes Wasserbad legen (Schuman et al., 1997).

Pasteurisierte ganze Eier können wie rohe Eier gelagert und verwendet werden. Während die Eigenschaften des Eigelbs unverändert bleiben, ist das Eiweiß im Vergleich zu einem rohen Ei milchig. Die Zeit, die benötigt wird um ein pasteurisiertes Ei zu schlagen ist erheblich länger, aber das Volumen ist nach dem Schlagen fast dasselbe (Schuman et al., 1997).

5. Rind

Zarte Stücke vom Rind – wie bspw. Filet, Roastbeef und Entrecôte – würzen, in hitzebeständige Beuteln vakuumieren und für die in Tabelle 2.3 angegebenen Zeiten entweder sehr blutig (49ºC), blutig (51,5ºC), englisch (54,5ºC) oder medium (60ºC) kochen. Für eine längere Haltbarkeit (d.h., Kochen-Abkühlen oder Kochen-Einfrieren) oder wenn das Fleisch Menschen mit geschwächtem Immunsystem serviert wird, muss das Rindfleisch mindestens für die in Tabelle 5.8 angegebenen Zeiten pasteurisiert werden. Nach dem Erhitzen, Fleisch entweder mit einer Lötlampe, auf einem sehr heißen Grill oder in einer Pfanne mit Öl am Rauchpunkt anbraten.

Vaudagna et al. (2002) fanden heraus, dass mit steigender Temperatur von 50ºC bis 65ºC der Kochgewichtsverlust zunahm und die Scherkraft abnahm. Sie fanden ebenfalls heraus, dass ein längeres Halten des Rindfleischs im Wasserbad für 90-360 Minuten keinen erheblichen Effekt auf das Kochgewicht oder die Scherkraft hatte. Über 70ºC nimmt die Zartheit ab und der Kochgewichtverlust nimmt aufgrund der myofibrillären Verhärtung weiter zu (Powell et al., 2000). Im Vergleich zu anderen Kochmethoden hat Sous-Vide zubereitetes Rindfleisch bei derselben Temperatur eine intensivere rötliche Farbe (García- Segovia et al., 2007).

Zähere, aber geschmacksintensive Stücke vom Rind – wie z.B. top blade, chuck, und top round – würzen und in einem 55ºC heißen Wasserbad für 24-48 Stunden kochen. Dies ist die niedrigste Temperatur bei der (unlösliches) Kollagen in Gelatine denaturiert (auflöst), bei höheren Temperaturen geschieht die Denaturierung schneller (Powell et al., 2000; This, 2006).

Flat Iron Steak

Rindfleisch, das im Vakuum englisch gegart wird beim ersten Aufschneiden blasser aussehen als englisch, aber röter werden sobald es Sauerstoff ausgesetzt wird.

- Flat Iron (Paleron oder Top Blade) Steak
- Salz und Pfeffer

Steak abspülen und mit einem Papiertuch trocken tupfen. Steak jaccardieren, mit Salz und Pfeffer würzen. Vakuumieren (und bis zum Gebrauch einfrieren).

Vakuumiertes Steak bei 55ºC für 24 Stunden ins Wasserbad legen. Das Fleisch wird nach dem Garen eine grünlich-braune Farbe aufweisen, die nach dem Anbraten verschwindet. [Das kann rasch in Eiswasser abgekühlt werden (siehe Tabelle 1.1) und eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC drei bis vier Wochen gekühlt werden bis es gebraucht wird.]

Steak aus dem Vakuumbeutel nehmen, mit einem Papiertuch trocken tupfen und schnell mit einer Lötlampe oder einer Pfanne mit Pflanzen- oder Nußöl am Rauchpunkt anbraten.

Roast Beef

- Top Blade, Chuck, oder Top Round Roast
- Salz und Pfeffer

Braten mit einem Papiertuch trocknen. Danach den Braten in Stücke schneiden, die nicht dicker als 70mm sind; alternativ kann der Braten auch in Einzelportionen zerlegt und nach obigem Rezept für Flat Iron Steaks zubereitet werden.

Braten mit grobkörnigem Salz/Meersalz und grobem Pfeffer würzen. Danach vakuumieren und bei 55ºC für 24 Stunden ins Wasserbad legen. [Nach dem Kochen kann der Braten rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch aufbewahrt werden.]

Braten aus dem Vakuumbeutel entfernen und mit einem Papiertuch trocken tupfen. Anschließend den Braten mit einer Lötlampe anrösten bis er eine dunkle Mahagonifarbe hat. Danach in Scheiben schneiden und sofort servieren.

Pasteurisierzeiten ab 5ºC

Dicke (mm)	55°C	57,5°C	60,5°C	63,5°C
5	1:17	42	21	10
10	1:21	46	25	15
15	1:28	53	32	22
20	1:37	1:02	41	31
25	1:49	1:14	53	41
30	2:03	1:29	1:06	54
35	2:20	1:45	1:21	1:07
40	2:40	2:03	1:38	1:23
45	3:01	2:23	1:56	1:39
50	3:24	2:45	2:16	1:57
55	3:49	3:08	2:37	2:16
60	4:16	3:33	2:59	2:36
65	4:44	3:59	3:23	2:58
70	5:14	4:26	3:48	3:21

Tabelle 5.8: Benötigte Zeit (SS:MM) für eine 6D Reduktion von Listeria monocytogenes in aufgetautem Fleisch in einem 55ºC- 63,5ºC heißen Wasserbad. Hier wurde der log D-Wert = 7,07 - 0.1085T°C ($D_{60}^{9.22}$ = 3,63 Minuten) verwendet, der mittels linearer Regression aus (O'Bryan et al., 2006, Tabelle 1), sowie (Bolton et al., 2000, Tabelle 2) und (Hansen und Knøchel, 1996, Tabelle 1) berechnet wurde. Siehe Anhang A für weitere Informationen über die Berechnung von log Reduktionen. Hinweis: Falls das Rindfleisch mit Sauce oder Marinade gewürzt wird, die das Fleisch säuern, müssen die Pasteurisierzeiten eventuell verdoppelt werden um der gesteigerten Hitzresistenz der Listerien zu begegnen (Hansen und Knøchel, 1996).

Rinderbrust

- Rinderbrust
- Zucker, Salz und Pfeffer

Die Fettschicht kreuzweise einschneiden. Die Rinderbrust im Kühlschrank für 2-3 Stunden in einer 4-prozentigen Salz und 3-prozentigen Zuckerlösung (40 Gramm Salz und 30 Gramm Zucker pro Liter Wasser) pökeln. Abspülen und mit Papiertüchern abtrocknen.

Die Rinderbrust entweder durch 30-60-minütiges Räuchern oder durch das Anbraten der Fettschicht mit einer Lötlampe aromatisieren. Anschließend Rinderbrust entweder als Ganzes oder in zwei bis vier Stücke geschnitten vakuumieren.

Obwohl das berühmte French Laundry seine Rinderbrust angeblich in einem 64ºC heißen Wasserbad für 48 Stunden gart, bevorzugt der Autor das Garen der Rinderbrust bei 80ºC für 24-36 Stunden. Alternativ dazu bevorzugen manche die Rinderbrust bei 57ºC für 36-48 Stunden zu garen. Da ein Teil der Flüssigkeit im Beutel den Aggregatszustand ändern wird (zu gasförmig), wird sich der Beutel aufblähen und eventuell an die Oberfläche treiben. Um ein ungleichmäßiges Garen zu vermeiden, sollten die Beutel mit einem Drahtgestell oder einer anderen Haltevorrichtung unter Wasser gehalten werden. [Nach dem Kochen kann die Rinderbrust rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für bis zu drei oder vier Wochen bis zum Gebrauch gelagert werden.]

Rinderbrust aus dem Vakuumbeutel entfernen und die Flüssigkeit aus dem Beutel verwenden, um eine schnelle Sauce herzustellen (in einer Pfanne bei mittlerer Hitze reduzieren und mit Maisstärke binden). Das Fleisch gegen die Faser in lange, dünne Scheiben schneiden und mit Glace de Viande servieren.

6. Schwein

Traditionelles Schweinekotelett

Obwohl Schwein bedenkenlos bei 54,4ºC gegart werden kann, finden viele Leute die leichte rosa Farbe von Schweinfleisch das bei dieser Temperatur gekocht wurde, unangenehm. Um ein Garen bis medium (an statt bis englisch) zu kompensieren, wird empfohlen das Schweinefleisch zu pökeln um einen Teil der stützenden Struktur der Muskelfasern aufzubrechen und die Wasseraufnahmekapazität des Fleischs zu erhöhen; die maximale Wasseraufnahme geschieht wenn in einer 7- 10 prozentige Salzlake gepökelt wird, wobei das Kotelett 20-25% seines Gewichts absorbiert (Graiver et al., 2006).

In einer 7-prozentigen Salz-, 3-prozentigen Zuckerlösung (70 Gramm Salz und 30 Gramm Zucker pro Liter) im Kühlschrank für ein bis zwei Stunden pökeln. (Falls ein Jaccard verwendet wird, sollte dies vor dem Pökeln geschehen.)

Abspülen, mit Papiertüchern trocknen und mit grobem Salz/ Meersalz und grobem Pfeffer würzen. Koteletts einzeln vakuumieren.

Zum Garen, für die in Tabelle 5.8 angegebenen Garzeiten in ein 61ºC heißes Wasserbad legen. [Die Koteletts können rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und anschließend eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für bis zu drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch aufbewahrt werden.]

Kotelett aus dem Vakuumbeutel entfernen, mit einem Papiertuch trocken tupfen und rasch mit einer Lötlampe oder in einer Pfanne mit Pflanzen- oder Nußöl am Rauchpunkt anbraten.

Langsam gegarte Schweinekoteletts

Dick geschnittene Schweinekoteletts mit grobkörnigem Salz/Meersalz und grobem Pfeffer würzen. Danach Koteletts einzeln vakuumieren und in einem 55ºC heißen Wasserbad für 12 Stunden garen. [Die Koteletts können rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und anschließend eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für bis zu drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch aufbewahrt werden.]

Kotelett aus dem Vakuumbeutel entfernen, mit einem Papiertuch trocken tupfen und rasch mit einer Lötlampe oder in einer Pfanne mit Pflanzen- oder Nußöl am Rauchpunkt anbraten.

Pulled Pork

- Schweinebraten (Boston Butt Braten oder Picnic Braten)
- Schmalz
- Salz und Pfeffer

Falls der Braten Knochen enthält, diese mit einem Entbeinmesser entfernen. Den Braten entweder in 200 Gramm schwere Steaks schneiden oder den Braten so schneiden, dass er nicht dicker als 70 mm ist. Danach den Braten in einer 7-10-prozentigen Salz, 0-3-prozentigen Zuckerwasserlösung (70-100 Gramm Salz und 0-30 Gramm Zucker pro Liter) für sechs bis zwölf Stunden im Kühlschrank pökeln.

Abgießen, abspülen und mit Papiertüchern trocken tupfen. Das Schweinefleisch mit grobem Salz/ Meersalz und grobem schwarzem Pfeffer würzen. Jedes Stück mit 1-2 Teelöffeln Schmalz (vorzugsweise nicht hydriert) vakuumieren.

Das Schweinefleisch entweder für 8-12 Stunden in einem 80ºC heißen Wasserbad oder für 24 Stunden in einem 68ºC heißen Wasserbad garen. Beim Garen bei 80ºC wird sich der Beutel (durch den Wasserdampf) aufblähen und an die Oberfläche treiben. Um ein ungleichmäßiges Garen zu verhindern sollte der Beutel mit einem Drahtgestell oder einer anderen Vorrichtung unter Wasser gehalten werden. [Das Schweinefleisch kann rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und anschließend eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für bis zu drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch aufbewahrt werden.]

Schweinefleisch aus dem Beutel nehmen und die Flüssigkeit aus dem Beutel aufbewahren. (Die Flüssigkeit über Nacht in einem Gefäß in den Kühlschrank stellen, Fett abschöpfen und den gelierten Fond für den späteren Gebrauch aufbewahren.) Die Oberfläche des Fleisches mit einem Papiertuch trocknen.

Für American style pulled pork, das Fleisch zerkleinern und mit Barbecue Sauce servieren. Für Mexican style pulled pork, die Oberfläche vor dem Zerkleinern mit einer Lötlampe (oder in einer Pfanne mit Pflanzen- oder Nußöl am Rauchpunkt) anbraten.

Barbecue Ribs

- Spare Ribs vom Schwein
- Trockene Grillmarinade
- Salz und Pfeffer

Die Ribs so portionieren, dass sie in die Vakuumbeutel passen (ca. 3-4 Ribs pro Stück). Danach die Ribs in einer 7- bis 10-prozentigen Salz-, 0- bis 3-prozentigen Zuckerwasserlösung (70-100 Gramm Salz und 0-30 Gramm Zucker pro Liter) für 12-24 Stunden im Kühlschrank pökeln.

Abgießen, abspülen und mit einem Papiertuch trocken tupfen. Die Oberseite jeder Rippe großzügig mit Grillgewürz würzen (z.B. 2 EL Paprika, 1,5 EL Selleriesalz, 1,5 EL Knoblauchpulver, 1EL schwarzer Pfeffer, 1 EL Chillipulver, 1 EL gemahlener Kreuzkümmel, 1EL brauner Zucker, 1 EL Tafelsalz, 1 TL weißer Zucker, 1 TL getrockneter Oregano und 1 TL Cayenne Pfeffer). Stücke einzeln vakuumieren.

Das Schweinefleisch entweder für 8-12 Stunden in einem 80ºC heißen Wasserbad oder für 24 Stunden in einem 68ºC heißen Wasserbad garen. Beim Garen bei 80ºC wird sich der Beutel (durch den Wasserdampf) aufblähen und an die Oberfläche treiben. Um ein ungleichmäßiges Garen zu verhindern sollte der Beutel mit einem Drahtgestell oder einer anderen Vorrichtung unter Wasser gehalten werden. [Das Schweinefleisch kann rasch in Eiswasser abgekühlt (siehe Tabelle 1.1) und anschließend eingefroren oder unterhalb von 3,3ºC für bis zu drei bis vier Wochen bis zum Gebrauch aufbewahrt werden.]

Ribs aus den Beuteln nehmen und mit einer Lötlampe auf der Oberseite anbraten. Anschließend sofort mit Barbecue Sauce servieren.

Teil III:
Anhang

A. Die Mathematik des Sous-Vide Garens

In diesem Handbuch sollen hauptsächlich die Erwärm- und Pasteurisierzeiten von Lebensmitteln dargestellt werden. Das ist keine leichte Aufgabe. Daher sind viele Vereinfachungen und Annahmen notwendig.

Erhitzen und Kühlen von Lebensmitteln

Die Übertragung von Hitze (durch Wärmeleitung) wird durch die folgende partielle Differentialgleichung beschrieben:

$$T_t = \nabla \cdot (\alpha \nabla T),$$

wobei $\alpha \equiv k/(\rho C_p)$ die thermische Diffusität (m^2/sek), k die Wärmeleitfähigkeit (W/m-K), ρ die Dichte (kg/m^3) und C_p die Wärmekapazität (kJ/kg-K) ist. Wenn die Temperatur an einem beliebigen Ausgangszeitpunkt bekannt ist und die Temperaturveränderung an der Oberfläche beschrieben werden kann, ist es möglich T eindeutig zu bestimmen. Obwohl k, ρ und C_p von der Position, der Zeit und der Temperatur abhängen, wird hier angenommen, dass die Abhängigkeit von Position und Zeit vernachlässigt werden können.

Da hier nur die Temperatur des sich am langsamstem erwärmenden Punktes eines Nahrungsmittels von Interesse ist (normalerweise im geometrischen Mittelpunkt der Nahrung), kann die dreidimensionale Hitzegleichung durch eine eindimensionale Hitzegleichung angenähert werden.

$$\begin{cases} \rho C_p(T) T_t = k(T)\{T_{rr} + \beta T_r / r\}, \\ T(r,0) = T_0, \qquad T_r(0,t) = 0, \\ k(T) T_r(R,t) = h\{T_{\text{Water}} - T(R,t)\}, \end{cases} \qquad (*)$$

wobei $0 \le r \le R$ und $t \ge 0$ gilt und $0 \le \beta \le 2$ ein geometrischer Faktor, T_0 die Ausgangstemperatur der Nahrung, T_{Water} die Temperatur des Mediums (Luft, Wasser, Dampf) ist in welchem die Nahrung erwärmt wird und h der Oberflächenhitze-Transferkoeffizient (W/m^2-K) ist. Abbildung A.2 zeigt beispielhaft die Kurven der gemessenen und der berechneten Kerntemperatur eines 27mm dicken Stückes Mahi-Mahi.

Der geometrische Faktor in (*) erlaubt die Annäherung an jede Form von einer großen Scheibe (β =0) über einen langen Zylinder (β =1) bis hin zu einer Kugel (β =2). Tatsächlich kann ein Würfel gut durch β=1,25, ein quadratischer Zylinder durch β=0,70 und ein 2:3:5 Klotz durch β=0,28 angenähert werden.

Aufgetaute Nahrungsmittel erhitzen

Bei aufgetauter Nahrung sind k, ρ und Cp nahezu konstant. Sanz et al. (1987) schreiben, dass Rindfleisch mit einem hohen Fettgehalt folgende Werte aufwies: eine Wärmeleitfähigkeit von 0,48 W/m-K bei 0ºC und 0,49 W/m-K bei 30°C; eine spezifische Wärmekapazität von 3,81 kJ/kg-K bei 0°C und bei 30°C; und eine Dichte von 1077 kg/m^3 bei5°C und von 1067 kg/m^3 bei 30°C. Diese Unterschiede sind viel geringer als diejenigen, die bei Roastbeef ($\alpha = 1{,}24\times10^{-7}$ m^2/Sek.) und bei beef round ($\alpha = 1{,}11\times10^{-7}$ m^2/Sek.) festgestellt wurden (Sanz et al., 1987). Daher kann die Temperatur aufgetauter Speisen durch folgende Gleichung modelliert werden:

$$\begin{cases} T_t = \alpha\{T_{rr} + \beta T_r / r\}, \\ T(r,0) = T_0, \qquad T_r(0,t) = 0, \\ T_r(R,t) = (h/k)\{T_{\text{Water}} - T(R,t)\}, \end{cases}$$

für $0 \le r \le R$ und $t \ge 0$. Da h groß ist (500–700 W/m^2-K für die meisten Wasserbäder), haben selbst große Abweichungen von h/k nur kleine Abweichungen in der Kerntemperatur der Nahrung bewirkt (Nicolaï und Baerdemaeker, 1996); im Vergleich dazu haben normale Öfen und kommerzielle Öfen (mit geringer Konvektion) einen Oberflächenhitze-

transferkoeffizienten von nur 14–30 W/m^2-K und selbst kleine Abweichungen in h können große Abweichungen der Kerntemperatur der Nahrung bewirken.

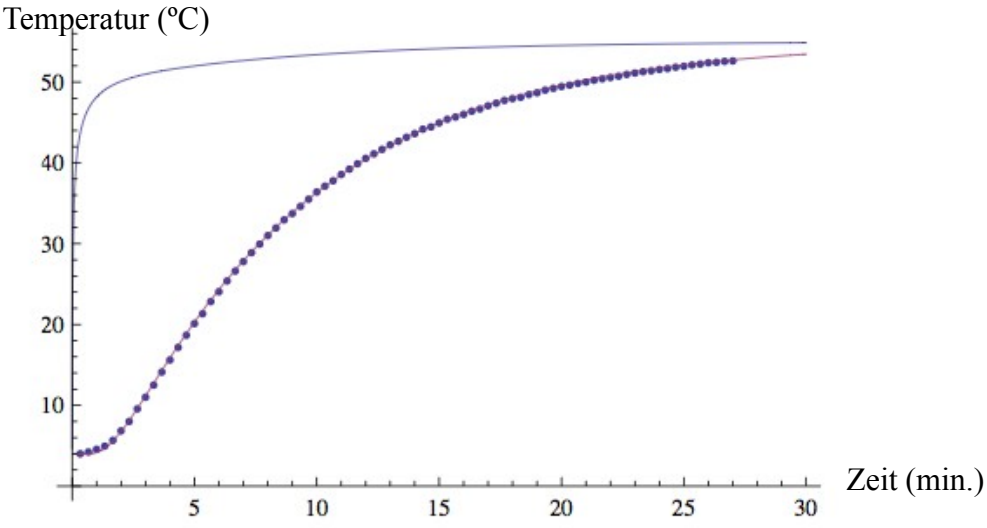


Abbildung A.2: Kurve der Temperatur und Zeit eines 27mm dicken Stücks Mahi-Mahi, der bei 55ºC in einem Wasserbad gegart wird. Die blauen Punkte stellen die mittels eines ThermoWorks MicroTherma2T mit einem Nadelfühler gemessene Kerntemperatur dar. Die rote Linie ist die berechnete Kerntemperatur und die blaue Linie ist die berechnete Oberflächentemperatur des Mahi-Mahi (es wurde eine thermische Diffusität von 1.71×10-7 m2/Sek und ein Hitzetransferkoeffizient von 600 W/m2-K angenommen).

Die meisten Nahrungsmittel haben eine thermische Diffusität zwischen 1,2 und 1,6*10^{-7} m^2/s (Baerdemaeker und Nicolaï, 1995). Thermische Diffusität hängt von vielen Faktoren ab unter anderem von Fleischgewürzen, Art des Muskelgewebes, Temperatur und Wassergehalt. Trotz dieser Abweichungen der thermischen Diffusität, kann stets eine (minimale) thermische Diffusität gewählt werden, welche die Temperatur des Fleischs beim Garvorgang unterschätzt (und beim Kühlen überschätzt). Daher wird hier in allen Tabellen $\alpha = 0{,}995\times10^{-7}$ m^2/s verwendet, da dieser Faktor geringer ist als die thermischen Diffusitäten, die in der Literatur angegeben werden (siehe Tabelle A.9). Des Weiteren kann Nahrung, die nur knapp über der gewünschten Kerntemperatur im Wasserbad zubereitet wird nicht übergart werden. Aus diesem Grund können Kochzeittabellen erstellt werden, die perfekt gegartes und ausreichend pasteurisiertes Fleisch sicherstellen, sofern die Beutel nicht an die Oberfläche treiben oder zu dicht gepackt sind.

	Thermische Diffusität verschiedener Lebensmittel (10^{-7} m^2/s)	
Rind	1,35–1,52	Markowski et al. (2004)
	1,22–1,82	Sheridan und Shilton (2002)
	1,11–1,30	Sanz et al. (1987)
	1,18–1,33	Singh (1982)
	1,18–1,33	Singh (1982)
	1,19–1,21	Donald et al. (2002)
	1,25–1,32	Tsai et al. (1998)
Schwein	1,12–1,83	Sosa-Morales et al. (2006)
	1,17–1,25	Sanz et al. (1987)
	1,28–1,66	Kent et al. (1984)
	1,18–1,38	Singh (1982)
Huhn	1,36–1,42 (weiß) und 1,28–1,33 (dunkel)	Siripon et al. (2007)
	1,46–1,48 (weiß)	Vélez-Ruiz et al. (2002)
	1,08–1,39	Sanz et al. (1987)
Fisch	1,09–1,60	Sanz et al. (1987)
	0,996-1,73	Kent et al. (1984)
	1,22–1,47	Singh (1982)
Obst	1,12–1,40 (Apfel), 1,42 (Banane)	
	1,07 (Zitrone), 1,39 (Pfirsich)	
	1,27 (Erdbeere)	
Gemüse	1,68 (Bohne), 1.82 (Erbse),	Singh (1982)
	1,23–1,70 (Kartoffel), 1,71 (Kürbis),	
	1,06–1,91 (Süßkartoffel), 1,48 (Tomate)	

Tabelle A.9: Thermale Diffusität (zwischen 0ºC und 65ºC) verschiedener Lebensmittel in der Literatur.

Berechnung der Zerstörung von Pathogenen

Unter Verwendung der obigen Modelle die Temperatur am sich am langsamsten erhitzenden Punkt des Fleischs, ist das klassische Modell für die log Reduktion von Pathogenen:

$$\mathrm{LR} = \frac{1}{D_{\mathrm{Ref}}} \int_0^t 10^{(T(t')-T_{\mathrm{Ref}})/z}\, dt',$$

wobei D_{ref} die für eine dezimale Reduktion von Pathogenen benötigte Zeit bei der Referenztemperatur T_{Ref} ist; der z-Wert ist der für eine zehnfache Abnahme in D benötigte Temperaturanstieg. Trotz Bedenken in (Geeraerd et al., 2000) gegen die Eignung des klassischen Modells für die milde Hitzbehandlung des Sous-Vide Kochens, fand Huang (2007) heraus, dass das klassische Modell (1-2D) konservativer war als die experimentellen Beobachtungen für Listerien.

B. Ausrüstung

Digitalthermometer

Eine genaue Temperatursteuerung ist wichtig für das Sous-Vide Kochen. Pasteurisierzeiten hängen kritisch von der Temperatur ab. Viele PID-gesteuerte Wasserbäder haben Abweichungen von bis zu 1ºC oder mehr; Falls ein Wasserbad also auf 60,5ºC eingestellt ist, kann es in Wirklichkeit nur 59,5ºC haben, was bedeuten würde, dass eine Hühnerbrust 15 Minuten länger benötigt als erwartet um als sicher zu gelten. Jedem Koch, der sich für das Sous-Vide Verfahren interessiert wird die Anschaffung eines hochqualitativen Digitalthermometers empfohlen. Als eines der günstigeren Modelle wird der Super-Fast Thermapen von ThermoWorks empfohlen. Austauschbare Temperatursonden sind beim Sous-Vide Kochen sehr nützlich, daher kann die Anschaffung eines ThermoWorks MicroTherma 2T oder eines Extech EA15 sinnvoll sein.

Vakuumiergeräte

Für kürzere Kochzeiten ist es oft möglich die Lebensmittel in eine hochqualitative Plastikfolie einzuwickeln; es ist jedoch schwierig, die aus den Nahrungsmitteln austretenden Flüssigkeiten aus dem Wasserbad in der Folie zu behalten und andererseits das Eindringen der Flüssigkeit des Wasserbads zu verhindern. Falls der Vakuumbeutel etwas Luft enthält wird er während des Erhitzens außerdem auftreiben und die Nahrungsmittel isolieren (da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist). Des Weiteren kann das Auftreiben dazu führen, dass der Beutel an der Oberfläche des Wasserbads treibt, was zu einem ungleichmäßigen Garvorgang führt.

Wenn keine Vakuumverpackungsmaschine vorhanden ist (und keine angeschafft werden soll), besteht die beste Lösung darin, einen günstigen Reynolds Handi-Vac zu verwenden; das Vakuum ist zwar nicht so stark wie bei Klammer- oder Kammervakuumiergeräten, aber das Gerät ist günstig und die Beutel wurden getestet und funktionieren gut für alles von Lachs bis zur Schweineschulter.

Die meisten Hobbyköche verwenden Klammervakuumiergeräte, wie bspw. den FoodSaver oder den Seal-A-Meal. Das Problem von Klammervakuumieren besteht darin, dass es schwierig ist ein starkes Vakuum zu erzeugen, die Beutel sind teuer (im Vergleich zu denen, die für Kammervakuumiergeräte verwendet werden) und Flüssigkeiten werden in die Maschine gesaugt. Die einfachste Lösung Flüssigkeiten zu vakuumieren besteht darin, sie vor dem Versiegeln einzufrieren; z.B. ist es besonders ist es sehr praktisch einen kleinen Eiswürfelbehälter mit Extra Vergine Olivenöl einzufrieren.

Einige fortgeschrittene Hobbyköche und viele Profiköche verwenden Kammervakuumiergeräte (wie bspw. Den Minipack MSV31). Diese Maschinen können ein wesentlich stärkeres Vakuum erzeugen als Klammervakuumierer, benötigen nur günstigere Beutel (0,90€ pro m² im Vergleich zu ca. 3€ pro m²) und können Flüssigkeiten versiegeln, ohne

dass diese vorher eingefroren wurden. Kammervakuumierer sind jedoch viel größer und schwerer als Klammervakuumiergeräte und kosten mehr als das Zehnfache.

Wasserbäder und Dampföfen

Reiskocher mit Temperatursteuerung, Bain Maries, Langsamkocher und elektrische Herdplatten

Für kurze Kochzeiten (bspw. bei der Zubereitung von Fisch), kann ein Topf mit Wasser auf dem Herd verwendet werden, wenn der Koch bereit ist die Temperatur genau zu beobachten und manuell anzupassen. Dies wird jedoch mit zunehmender Kochzeit mühsamer daher verwenden die meisten Köche ein digitales Steuergerät um die Temperatur zu regulieren.

Die einfachsten (und günstigsten) digitalen Steuergeräte, die für das Sous-Vide Verfahren verwendet werden sind An-/Aus- Steuergeräte, wie bspw. Der Ranco ETC. Bei einem Versuch mit einer Bain Marie konnte die Temperatur in einem Wasserbad bis auf ±1,2ºC konstant gehalten werden. Dieses Niveau der Temperaturregelung reicht für die meisten Sous-Vide Anwedungen aus.

Besonders beliebte digitale Steuerungen für das Sous-Vide Garen sind die PID Controller von Auber Instruments und Fresh Meals Solutions. Anders als bei An-/Aus- Steuergeräten, müssen diese auf das verwendete Kochgerät eingestellt werden; nachdem ein Auber PID Steuergerät abgeglichen wurde, konnte eine Bain Marie Wasserbad auf ±0,4ºC konstant gehalten werden.

Bei allen digitalen Steuergeräten wird dringend empfohlen die Temperaturabweichung (nahe der gewünschten Kochtemperatur gemessen) mit einem hochqualitativen Digitalthermometer einzustellen. Tatsächlich können die Thermistoren die in den oben genannten Steuergeräten verwendet werden ohne weiteres eine Abweichung von 1-2ºC haben.

Diese Temperatursteuergeräte werden häufig mit einem Warmhaltegerät (oder einer Bain Marie), einem kommerziellen Reiskocher, einer elektrischen (Induktions-) Heizplatte, einem Langsamkocher oder einem Röstautomaten betrieben. Die wichtigste Überlegung beim Kauf eines solchen Geräts ist das Vorhandensein eines manuellen Schalters (der nicht zurückgesetzt wird, wenn der Strom vom Temperatursteuergerät an und ausgeschaltet wird). Viele Leute verwenden einen Reiskocher, eine Bain Marie oder eine elektrische Heizplatte, da sie schneller reagieren als Langsamkocher und Röstautomaten (und daher weniger überheizen). Da Reiskocher, Bain Maries und elektrische Heizplatten von unten beheizt werden, erzeugen sie häufig genügend Konvektionsströme um die Wassertemperatur flächendeckend gleichmäßig zu halten; nicht umgewälzte Langsamkocher und Röstautomaten können Kältezonen mit bis zu 5-10ºC Unterschied haben. Unabhängig von dem verwendeten Heizgerät wird eine Umwälzpumpe in Verbindung mit dem Temperatursteuergerät stark empfohlen. Die beliebteste Option für die Wasserumwälzung sind Aquarienbelüfter – Aquariumstauchpumpen sind nicht für den Betrieb bei Sous-Vide Temperaturen geignet und gehen schnell kaputt. Eine andere beliebte Alternative für die Wasserumwälzung sind Sumpfkühler, da diese nicht ins Wasser eingetaucht werden und für den Dauerbetrieb ausgelegt sind.

Labor Einhängethermostate

Umgewälzte Laborwasserbäder sind sehr beliebt, da sie große Mengen an Wasser (oft bis zu 50 Liter) bis auf ±0,05ºC konstant halten können. Viele wurden gebraucht auf eBay für 70€ - 140€ verkauft, werden aber jetzt auf Grund der durch das Sous-Vide Kochen gestiegenen Nachfrage für 240€- 340€ verkauft. Ein erhebliches Problem beim Kauf von gebrauchten Laborwasserbädern besteht darin, dass sie möglicherweise mit krebserregenden Stoffen und Krankheitserregern verwendet wurden; Es wird empfohlen sie zuerst mit Bleichmittel zu reinigen, sie anschließend mit Essig zu reinigen und sie dann mit 70% Alkohol zu spülen. Aufgrund des steigenden Preises von gebrauchten Umwälzbädern kaufen viele

inzwischen neue Einhängethermostaten von PolyScience und Techne.

Während einige Köche speziell entworfene Edelstahl- oder Acrylbehälter für Ihre Einhängethermostate kaufen, verwenden die meisten entweder einen großen Suppentopf oder eine Bain Marie. Warmhaltegeräte (die eine ganze Bain Marie aufnehmen können) erscheinen dem Autor besonders geeignet; diese Warmhaltegeräte sind isoliert, können ca. 20 Liter Wasser fassen und bieten eine Rückversicherung wenn sie auf eine Temperatur knapp unterhalb der gewünschten Gartemperatur eingestellt werden, damit die Nahrung nicht verdirbt, falls der Einhängethermostat ausfällt.

Konvektionsdampföfen

In Konvektionsdampföfen können große Mengen an Nahrung zubereitet werden, aber gasbetriebene Modelle können Temperaturschwankungen von bis zu 5ºC, elektrische Modelle von ca. 2,5ºC haben. Außerdem fanden Sheard und Rodger (1995) heraus, dass keiner der Dampf-Konvektionsöfen, die sie getestet haben, die Beutel gleichmäßig erhitzt hat, wenn sie voll beladen waren. Tatsächlich hat der Beutel, der am langsamsten erwärmt wurde 70%-200% länger gebraucht als derjenige, der am schnellsten erhitzt wurde, um bei einer Betriebstemperatur von 80ºC eine Temperatursteigerung von 20ºC auf 75ºC zu erreichen. Sie glauben, dass diese Abweichung ein Resultat der relativ schlechten Verteilung von Dampf bei Temperaturen unterhalb von 100ºC und der Abhängigkeit der Öfen von kondensiertem Dampf als Hitzeüberträger ist. Daher können die Tabellen in diesem Handbuch nicht verwendet werden. Dünne Temperatursonden müssen für die Bestimmung der Gar- und Pasteurisierzeiten eingesetzt werden.

Vorschläge für die Grundausstattung

Die untenstehende Tabelle soll eine Vorstellung von den ungefähren Kosten verschiedener Sous-Vide Ausstattungen geben.

Kosten	*Vakuumiergerät*	*Heizsystem*
7,00 €	Reynolds Handi-Vac	Suppentopf auf dem Herd
50,00€ - 75,00€		Ranco ETC gesteuerter großer Reiskocher (oder Langsamkocher) (mit einer Aquariumspumpe für bessere Zirkulation)
75,00€ – 105,00€	-	PID-gesteuerter Reis- (oder Langsam-) Kocher (mit einer Aquariumspumpe zur Umwälzung)
150,00€ - 180,00€	FoodSaver V2840	-
310,00€ - 415,00€		Gebrauchter Einhängethermostat bei eBay
750,00 €	-	Neuer Einhängethermostat (z.B., PolyScience 7306C) in einem großen Suppentopf oder in einer Bain Marie
930,00 €	-	Neuer Einhängethermostat in einem Warmhaltegerät.
1.720,00 €	VacMaster SVP-10	-
2.060,00 €	MiniPack MVS-31	-
>2.060,00€	Großes Kammervakuumiergerät	Mehrere neue Einhängethermostate oder Konvektionsdampföfen

C. Staatlich vorgeschriebene Pasteurisierzeiten (USA)

Die Pasteurisierzeiten für Fleisch, Lamm und Schwein sind in Tabelle C.10 aufgeführt. Tabelle C.11 enthält die Pasteurisierzeiten für Huhn und Pute.

Temperatur (ºC)	*Zeit (Minuten)*	*Temperatur (ºC)*	*Zeit (Sekunden)*
54,4ºC	112 Min.	63,3ºC	169 Sek.
55,0ºC	89 Min.	63,9ºC	134 Sek.
55,6ºC	71 Min.	64,4ºC	107 Sek.
56,1ºC	56 Min.	65,0ºC	85 Sek.
56,7ºC	45 Min.	65,6ºC	67 Sek.
57,2ºC	36 Min.	66,1ºC	54 Sek.
57,8ºC	28 Min.	66,7ºC	43 Sek.
58,4ºC	23 Min.	67,2ºC	34 Sek.
58,9ºC	18 Min.	67,8ºC	27 Sek.
59,5ºC	15 Min.	68,3ºC	22 Sek.
60,0ºC	12 Min.	68,9ºC	17 Sek.
60,6ºC	9 Min.	69,4ºC	14 Sek.
61,1ºC	8 Min.	70,0ºC	0 Sek.
61,7ºC	6 Min.		
62,2ºC	5 Min.		
62,8ºC	4 Min.		

Tabelle C.10: Pasteurisierungszeiten für Rind, Corned Beef, Lamm, Schwein und geräuchertes Schwein (Anon., 2005b, 3-401.11.B.2).

Temperatur (ºC)	*Zeit 1% Fett*	*Zeit 3% Fett*	*Zeit 5% Fett*	*Zeit 7% Fett*	*Zeit 9% Fett*	*Zeit 12% Fett*
57,8	64 min	68,4 min	71,4 min	65,7 min	74,8 min	81,4 min
58,3	51,9 min	52,4 min	54,3 min	56,8 min	59,7 min	65,5 min
58,9	42,2 min	42,7 min	43,4 min	45,3 min	47,7 min	52,9 min
59,4	34,4 min	34,9 min	35,4 min	36,2 min	38,3 min	43 min
60	28,1 min	28,5 min	29 min	29,7 min	30,8 min	35 min
60,6	23 min	23,3 min	23,8 min	24,4 min	25,5 min	28,7 min
61,1	18,9 min	19,1 min	19,5 min	20,1 min	21,1 min	23,7 min
61,7	15,5 min	15,7 min	16,1 min	16,6 min	17,4 min	19,8 min
62,2	12,8 min	12,9 min	13,2 min	13,7 min	14,4 min	16,6 min
62,8	10,5 min	10,6 min	10,8 min	11,3 min	11,9 min	13,8 min
63,3	8,7 min	8,7 min	8,9 min	9,2 min	9,8 min	11,5 min
64,4	5,8 min	5,8 min	5,9 min	6,1 min	6,5 min	7,7 min
65,6	3,8 min	3,7 min	3,7 min	3,9 min	4,1 min	4,9 min
66,7	2,3 min	2,3 min	2,3 min	2,3 min	2,4 min	2,8 min
67,8	1,5 min	1,5 min	1,5 min	1,5 min	1,5 min	1,6 min
68,9	59 sec	59,5 sec	1 min	1 min	1 min	1 min
70	38,8 sec	39,2 sec	39,6 sec	40 sec	40,3 sec	40,9 sec
71,1	25,6 sec	25,8 sec	26,1 sec	26,3 sec	26,6 sec	26,9 sec
72,2	16,9 sec	17 sec	17,2 sec	17,3 sec	17,5 sec	17,7 sec
73,3	11,1 sec	11,2 sec	11,3 sec	11,4 sec	11,5 sec	11,7 sec
74,4	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec	0 sec

Tabelle C.11: Pasteurisierzeiten für eine 7D Reduktion von Salmonellen in Huhn und Pute (Anon., 2005a).

QUELLENVERZEICHNIS

Annika Andersson, Ulf Rönner, and Per Einar Granum. What problems does the food industry have with the spore-forming pathogens Bacillus cereus and Clostridium perfringens? International Journal of Food Microbiology, 28:145–155, 1995.

Anon. Time-temperature tables for cooking ready-to-eat poultry products. Notice 16-05, Food Safety and Inspection Service, 2005a.

Anon. Food code. Technical report, U.S. Department of Health and Human Services, 2005b.

Necla Aran. The effect of calcium and sodium lactates on growth from spores of Bacillus cereus and Clostridium perfringens in a 'sous-vide' beef goulash under temperature abuse. International Journal of Food Microbiology, 63:117–123, 2001.

Gillian A. Armstrong and Heather McIlveen. Effects of prolonged storage on the sensory quality and consumer acceptance of sous vide meat-based recipe dishes. Food Quality and Preference, 11:377–385, 2000.

P. Arvidsson, M. A. J. S. Van Boekel, K. Skog, and M. Jägerstad. Kineteics of formation of polar heterocyclic amines in a meat model system. Journal of Food Science, 62(5):911–916, 1997.

J. De Baerdemaeker and B. M. Nicolaï. Equipment considerations for sous vide cooking. Food Control, 6(4): 229–236, 1995.

H.-D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle. Food Chemistry. Springer, 3rd edition, 2004.

G. D. Betts and J. E. Gaze. Growth and heat resistance of psychrotropic Clostridium botulinum in relation to 'sous vide' products. Food Control, 6:57–63, 1995.

D. J. Bolton, C. M. McMahon, A. M. Doherty, J. J. Sheridan, D. A. McDowell, I. S. Blair, and D. Harrington. Thermal inactivation of Listeria monocytogenes and Yersinia enterocolitica in minced beef under laboratory conditions and in sous-vide prepared minced and solid beef cooked in a commercial retort. Journal of Applied Microbiology, 88:626–632, 2000.

P. E. Bouton and P. V. Harris. Changes in the tenderness of meat cooked at 50–65°c. Journal of Food Science, 46:475–478, 1981.

Ivor Church. The sensory quality, microbiological safety and shelf life of packaged foods. In Sue Ghazala, editor, Sous Vide and Cook–Chill Processing for the Food Industry, pages 190–205. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 1998.

Ivor J. Church and Anthony L. Parsons. The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods. International Journal of Food Science and Technology, 35:155–162, 2000.

Philip G. Creed. The sensory and nutritional quality of 'sous vide' foods. Food Control, 6(1):45–52, 1995.

Philip G. Creed. Sensory and nutritional aspects of sous vide processed foods. In Sue Ghazala, editor, Sous Vide and Cook–Chill Processing for the Food Industry, pages 57–88. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 1998.

C. Lester Davey, Alan F. Niederer, and Arie E. Graafhuis. Effects of ageing and cooking on the tenderness of beef muscle. Journal of the Science of Food and Agriculture, 27:251–256, 1976.

Karl Mc Donald, Da-Wen Sun, and James G. Lyng. Effect of vacuum cooling on the thermophysical properties of a cooked beef product. Journal of Food Engineering, 52:167–176, 2002.

Peter Karim Ben Embarek and Hans Henrik Huss. Heat resistance of Listeria monocytogenes in vacuum packaged pasteurized fish fillets. International Journal of Food Microbiology, 20:85–95, 1993.

J. D. Fagan and T. R. Gormley. Effect of sous vide cooking, with freezing, on selected quality parameters of seven fish species in a range of sauces. European Food Research and Technology, 220:299–304, 2005.

Pablo S. Fernández and Michael W. Peck. A predictive model that describes the effect of prolonged heating at 70 to 90°c and subsequent incubation at refrigeration temperatures on growth from spores and toxigenesis by nonproteolytic Clostridium botulinum in the presence of lysozyme. Applied and Environmental Microbiology, 65(8):3449–3457, 1999.

M. C. García-Linares, E. Gonzalez-Fandos, M. C. García-Fernández, and M. T. García-Arias. Microbiological and nutritional quality of sous vide or traditionally processed fish: Influence of fat content. Journal of Food Quality, 27:371–387, 2004.

P. García-Segovia, A. Andrés-Bello, and J. Martínez-Monzó. Effec of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (M. pectoralis). Journal of Food Engineering, 80:813–821, 2007.

A. H. Geeraerd, C. H. Herremans, and J. F. Van Impe. Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. International Journal of Food Microbiology, 59:185–209, 2000.

S. Ghazala, J. Aucoin, and T. Alkanani. Pasteurization effect on fatty acid stability in a sous vide product containing seal meat (Phoca groenlacdica). Journal of Food Science, 61(3):520–523, 1996.

E. González-Fandos, M. C. García-Linares, A. Villarino-Rodríguez, M. T. García-Arias, and M. C. García-Fernández. Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) processed by the sous vide method. Food Microbiology, 21:193–201, 2004.

E. González-Fandos, A. Villarino-Rodríguez, M. C. García-Linares, M. T. García-Arias, and M. C. García-Fernández. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method. Food Control, 16:77–85, 2005.

G. W. Gould. Sous vide food: Conclusions of an ECFF Botulinum working party. Food Control, 10:47–51, 1999.

N. Graiver, A. Pinotti, A. Califano, and N. Zaritzky. Diffusion of sodium chloride in pork tissue. Journal of Food Engineering, 77:910–918, 2006.

T. B. Hansen and S. Knøchel. Thermal inactivation of Listeria monocytogenes during rapid and slow heating in sous vide cooked beef. Letters in Applied Microbiology, 22:425–428, 1996.

Tina B. Hansen, Susanne Knøchel, Dorte Juncher, and Grete Bertelsen. Storage characteristics of sous vide cooked roast beef. International Journal of Food Science and Technology, 30:365–378, 1995.

Lihan Huang. Computer simulation of heat transfer during in-package pasteurization of beef frankfurters by hot water immersion. Journal of Food Engineering, 80:839–849, 2007.

M. Jägerstad, K. Skog, P. Arvidsson, and A. Solyakov. Chemistry, formation and occurrence of genotoxic heterocyclic amines identified in model systems and cooked foods. Z Lebensm Unters Forsch A, 207:419–427, 1998.

M. A. E. Johansson, L. Fredholm, I. Bjerne, and M. Jägerstad. Influence of frying fat on the formation of heterocyclic amines in fried beefburgers and pan residues. Food and Chemical Toxicology, 33(12):993–1004, 1995.

K. Juneja, B. S. Eblen, and G. M. Ransom. Thermal inactivation of Salmonella spp. in chicken broth, beef, pork, turkey, and chicken: Determination of d- and z-values. Journal of Food Science, 66:146–152, 2001.

M. Kent, K. Christiansen, I. A. van Haneghem, E. Holtz, M. J. Morley, P. Nesvadba, and K. P. Poulsen. COST 90 collaborative measurement of thermal properties of foods. Journal of Food Engineering, 3:117–150, 1984.

Anne Lassen, Morten Kall, Kirsten Hansen, and Lars Ovesen. A comparison of the retention of vitamins B1, B2 and B6, and cooking yield in pork loin with conventional and enhanced meal-service systems. European Food Research and Technology, 215:194–199, 2002.

Marek Markowski, Ireneusz Bialobrzewski, Marek Cierach, and Agnieszka Paulo. Determination of thermal diffusivity of lyoner type sausages during water bath cooking and cooling. Journal of Food Engineering, 65:591–598, 2004.

Harold McGee. On Food and Cooking: The Science and Lore of The Kitchen. Scribner, New York, 2004.

Lene Meinert, Annette Schäfer, Charlotte Bjergegaard, Margit D. Aaslyng, and Wender L. P. Bredie. Comparison of glucose, glucose 6-phosphate, ribose, and mannose as flavour precursors in pork; the effect of monosaccharide addition on flavour generation. Meat Science, 81:419–425, 2009.

Anne Meynier and Donald S. Mottram. The effect of pH on the formation of volatile compounds in meatrelated model systems. Food Chemistry, 52:361–366, 1995.

Ban Mishu, J. Koehler, L.A. Lee, D. Rodrigue, F.H. Brenner, P. Blake, and R.V. Tauxe. Outbreaks of Salmonella enteritidis infections in the United States, 1985-1991. Journal of Infectious Diseases, 169:547–552, 1994.

D. A. A. Mossel and Corry B. Struijk. Public health implication of refrigerated pasteurized (‘sous-vide’) foods. International Journal of Food Microbiology, 13:187–206, 1991.

Donald S. Mottram. Flavour formation in meat and meat products: A review. Food Chemistry, 62(4):415–424, 1998.

National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Food. Response to the questions posed by the food and drug administration and the national marine fisheries service regarding determination of cooking parameters for safe seafood for consumers. Journal of Food Protection, 71(6):1287–1308, 2008.

A. D. Neklyudov. Nutritive fibers of animal origin: Collagen and its fractions as essential components of new and useful food products. Applied Biochemistry and Microbiology, 39:229–238, 2003.

B. M. Nicolaï and J. De Baerdemaeker. Sensitivity analysis with respect to the surface heat transfer coefficient as applied to thermal process calculations. Journal of Food Engineering, 28:21–33, 1996.

Hilda Nyati. An evaluation of the effect of storage and processing temperatures on the microbiological status of sous vide extended shelf-life products. Food Control, 11:471–476, 2000a.

Hilda Nyati. Survival characteristics and the applicability of predictive mathematical modelling to Listeria monocytogenes growth in sous vide products. International Journal of Food Microbiology, 56:123–132, 2000b.

Corliss A. O’Bryan, Philip G. Crandall, Elizabeth M. Martin, Carl L. Griffis, and Michael G. Johnson. Heat resistance of Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Escherichia coli 0157:H7, and Listeria innocua M1, a potential surrogate for Listeria monocytogenes, in meat and poultry: A review. Journal of Food Science, 71 (3):R23–R30, 2006.

Fiach C. O’Mahony, Tomás C. O’Riordan, Natalia Papkovskaia, Vladimir I. Ogurtsov, Joe P. Kerry, and Dmitri B. Papkovsky. Assessment of oxygen levels in convenience-style muscle-based sousvide

products through optical means and impact on shelf-life stability. Packaging Technology and Science, 17:225–234, 2004.

Michael W. Peck. Clostridium botulinum and the safety of refrigerated processed foods of extended durability. Trends in Food Science & Technology, 8:186–192, 1997.

Michael W. Peck and Sandra C. Stringer. The safety of pasteurised in-pack chilled meat products with respect to the foodborne botulism hazard. Meat Science, 70:461–475, 2005. Q. Tuan Pham. Modelling heat and mass transfer in frozen foods: a review. International Journal of Refrigeration, 29:876–888, 2006.

T. H. Powell, M. E. Dikeman, and M. C. Hunt. Tenderness and collagen composition of beef semitendinosus roasts cooked by conventional convective cooking and modeled, multi-stage, convective cooking. Meat Science, 55:421–425, 2000.

Joan Roca and Salvador Brugués. Sous-Vide Cuisine. Montagud Editores, S.A., 2005.

Svetlana Rybka-Rodgers. Improvement of food safety design of cook-chill foods. Food Research International, 34:449–455, 2001.

Svetlana Rybka-Rodgers. Developing a HACCP plan for extended shelf-life cook-chill ready-to-eat meals. Food Australia, 51:430–433, 1999.

P. D. Sanz, M. D. Alonso, and R. H. Mascheroni. Thermophysical properties of meat products: General bibliography and experimental values. Transactions of the ASAE, 30:283–289 & 296, 1987.

Mia Schellekens. New research issues in sous-vide cooking. Trends in Food Science and Technology, 7: 256–262, 1996.

J. D. Schuman, B. W. Sheldon, J. M. Vandepopuliere, and H. R. Ball, Jr. Immersion heat treatments for inactivation of Salmonella enteritidis with intact eggs. Journal of Applied Microbiology, 83:438–444, 1997.

M. A. Sheard and C. Rodger. Optimum heat treatments for ‘sous vide’ cook-chill products. Food Control, 6: 53–56, 1995.

P. S. Sheridan and N. C. Shilton. Determination of the thermal diffusivity of ground beef patties under infrared radiation oven-shelf cooking. Journal of Food Engineering, 52:39–45, 2002.

M. V. Simpson, J. P. Smith, B. K. Simpson, H. Ramaswamy, and K. L. Dodds. Storage studies on a sous vide spaghetti and meat sauce product. Food Microbiology, 11:5–14, 1994.R. P. Singh. Thermal diffusivity in food processing. Food Technology, 36(2):134–137, 1982.

Kritsna Siripon, Ampawan Tansakul, and Gauri S. Mittal. Heat transfer modeling of chicken cooking in hot water. Food Research International, 40:923–930, 2007.

K. Skog, 2009. Personal correspondence.

K. Skog. Cooking procedures and food mutagens: A literature review. Food and Chemical Toxicology, 31(9):655–675, 1993.

K. Skog, M. Jägerstad, and A. Laser Reuterswärd. Inhibitory effect of carbohydrates on the formation of mutagens in fried beef patties. Food and Chemical Toxicology, 30(8):681–688, 1992.

O. Peter Snyder, Jr. Food safety hazards and controls for the home food preparer. Technical report, Hospitality Institute of Technology and Management, 2006.

María Elena Sosa-Morales, Ronald Orzuna-Espíritu, and Jorge F. Vélez-Ruiz. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. Journal of Food Engineering, 77:731–738, 2006.

Tonje Holte Stea, Madelene Johansson, Margaretha Jägerstad, and Wenche Frølich. Retention of folates in cooked, stored and reheated peas, broccoli and potatoes for use in modern large-scale service systems. Food Chemistry, 101:1095–1107, 2006.

Hervé This. Molecular Gastronomy: Exploring the Science of Flavor. Columbia University Press, New York, 2006.

E. Tornberg. Effect of heat on meat proteins — implications on structure and quality of meat products. Meat Science, 70:493–508, 2005.

Shwu-Jene Tsai, Nan Unklesbay, Kenneth Unklesbay, and Andrew Clarke. Thermal properties of restructured beef products at different isothermal temperatures. Journal of Food Science, 63(3):481–484, 1998.

Sergio R. Vaudagna, Guillermo Sánchez, Maria S. Neira, Ester M. Insani, Alyandra B. Picallo, Maria M. Gallinger, and Jorge A. Lasta. Sous vide cooked beef muscles: Effects of low temperature-long time (LTLT) treatments on their quality characteristics and storage stability.International Journal of Food Science and Technology, 37:425–441, 2002.

J. F. Vélez-Ruiz, F. T. Vergara-Balderas, M. E. Sosa-Morales, and J. Xique-Hernández. Effect of temperature on the physical properties of chicken strips during deep-fat frying. International Journal of Food Properties, 5(1):127–144, 2002.

R. R. Willardsen, F. F. Busta, C. E. Allen, and L. B. Smith. Growth and survival of Clostridium perfringens during constantly rising temperatures. Journal of Food Science, 43:470–475, 1977.