



Delikate Grenzflächen

Von der Sauce Vinaigrette zur Mayonnaise



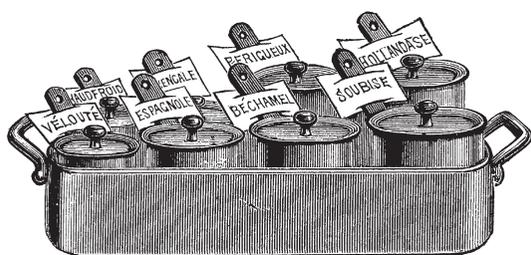


Abb. 1 Der Saucier und sein wichtigstes Handwerkzeug. Dieser Stich aus dem 19. Jahrhundert zeigt die wichtigsten Zutaten eines professionellen Sauciers der Spitzen-gastronomie, die in einem Wasserbad warmgehaltenen Grundsauces. Daraus kreiert er mit Kräutern, Gewürzen, Fleisch- und Gemüsebrühen sowie Butter, Sahne etc. zu jedem Gericht die passende Sauce.



Die Herstellung von Saucen mit ihren gaumenschmeichelnden Flüssig-Flüssig-Grenzflächen gehört nach Brillat-Savarin zum Schwierigsten, was es auf dem Gebiet der Kochkunst gibt. Tatsächlich sind die naturwissenschaftlichen Grundlagen und die Küchenpraxis der Saucenherstellung keineswegs trivial. Versuchen wir dieses interessante Teilgebiet der molekularen Kochkunst für uns zu erobern, um künftig diese schmackhaften Grenzflächen noch intensiver zu genießen.

In einer Küchenmannschaft der Spitzengastronomie nimmt der Saucier unter den Köchen die führende Stelle ein. Obwohl seine Produkte nur den Rahmen für die Gerichte bilden, hängt von seiner Sicherheit bei der Auswahl und Verarbeitung der Saucenzutaten und dem perfekten Salzen und Würzen der Ruf der ganzen Küche ab. Zur Herstellung einer perfekten Sauce kann der Saucier nicht nur auf eine große Zahl bester Zutaten zurückgreifen (Abbildung 1), sondern sich auch die notwendige Zeit für die Zubereitung nehmen. Dagegen sind Hobbyköchinnen und -köchen am heimischen Herd enge Grenzen gesetzt. Nur größere Bratenstücke liefern aromatischen Bratensaft, dessen Menge aber meist nicht ausreicht, um daraus genügend Sauce herzustellen. Bei Fisch- und Gemüsegerichten oder kurzgebratenem oder gegrilltem Fleisch steht man völlig mit leeren Händen da und muss eine Sauce bei Null beginnend zubereiten, sozusagen eine Ab-initio-Sauce. Lassen wir uns davon aber nicht entmutigen, sondern erarbeiten uns die wissenschaftliche Basis der Saucenherstellung, in der Hoffnung, wenigstens einige Rezepte zu finden, bei denen auch Anfängern ein gastronomischer Drei-Sterne-Höhenflug gelingen könnte [1].

Die kulinarische Funktion von Saucen

Eine Sauce muss wunderbar schmecken, köstlich duften und den charakteristischen Geschmack und das Aroma des Gerichts unterstreichen, ohne sich selbst dabei in den Vordergrund zu drängen. In einer Drei-Sterne-Küche wird für jedes Gericht eine eigene Sauce frisch kreiert, mit der das auf dem Teller angerichtete Essen vor dem Verlassen der Küche gekrönt wird.

Eine Sauce muss aber noch mehr können: Sie muss appetitlich aussehen, mit schöner Farbe und edlem Glanz und mit der auf dem Teller angerichteten Komposition harmonieren, zu dunklem Fleisch bevorzugt man dunkle, kräftige, zu hellem Fleisch weiße, mildere Saucen.

Darüber hinaus erfüllen Saucen auch scheinbar banale Aufgaben: Mit ihrer Sämigkeit können sie bei gegrilltem Fleisch oder Fisch manch trockenen Bissen ein angenehmes Mundgefühl verleihen. Weiterhin nehmen die in der Sauce fein verteilten Öltröpfchen beim Zerkleinern Aromastoffe des Gerichts auf. Wenn dann diese aromatische Sauce die Zungen- und Gaumenoberfläche bedeckt, wird von dort ein lang anhaltender Nachgeschmack (besser Nacharoma) abgegeben. Kurzum: Eine Sauce verstärkt und verlängert den Genuss und ist deswegen unverzichtbarer Teil eines delikaten Gerichts.

Eine Sauce mit all diesen Eigenschaften herzustellen, ist ein schwieriges Handwerk und eine kulinarische Kunst zugleich. „Eine gute Sauce in höchster Vollkommenheit zu bereiten, ist das Schwierigste, was es auf dem Gebiet der Kochkunst gibt. Selbst ein gelernter Koch braucht jahrelange Erfahrung als Saucier und bleibt doch ein Stümper, wenn ihm nicht Gastera, die Muse der Tafelfreuden, wohlgesinnt ist.“ [2]

Die Welt der Saucen

Der Name Sauce leitet sich vom lateinischen „salsus“ (salzig) ab und tatsächlich waren Saucen in der römischen und mittelalterlichen Küche vorzugsweise ein Würzmittel. Je nach den vorhandenen Lebensmitteln, den Bedürfnissen und der Mode kreierten Köche im Laufe der Jahrhunderte eine Unzahl von Saucen. Erst Antoine Carême, der Begründer der klassischen französischen Küche (Infokasten S. 162), ordnete die Saucenvielfalt und führte sie auf nur vier Grund- oder Muttersaucen (*saucen mères*) zurück [3]: *sauce allemande*, *béchamel*, *espagnole* und *velouté* [4] (Tabelle 1).

Auguste Escoffier, der bedeutendste Koch des letzten Jahrhunderts, erweiterte Carêmes System auf fünf Grundsaucen: die braune *espagnol*, die rote *tomate* und die weißen *velouté*, *béchamel* und *hollandaise*. Er perfektionierte die *haute cuisine*, die klassische französische Küche,



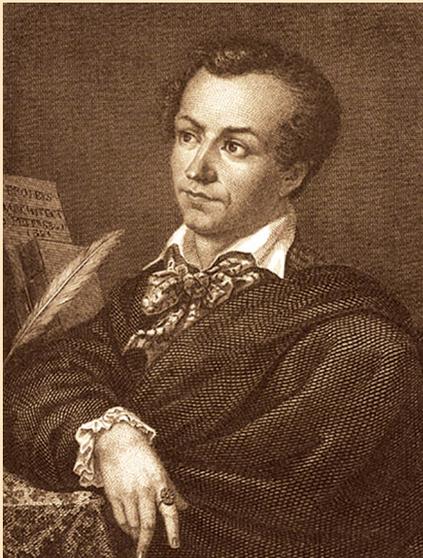


in der mehlig gebundene und mit viel Butter bereitete Saucen dominierten. In den Siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts forderten einige jüngere französische Chefs, allen voran Paul Bocuse, zum Umdenken auf, zu einer *nouvelle cuisine*. Nicht viele und schwere Gänge, sondern leichte und weniger umfangreiche Menüs unter ausschließlicher Verwendung von marktfrischen Zutaten wurden gefordert. Der Einsatz moderner Küchentechnik war kein Tabu mehr, überflüssige Zubereitungsschritte wurden weggelassen und die Garzeiten drastisch reduziert, um den charakteristischen Eigengeschmack der Zutaten zu bewahren. Im Mittelpunkt aller Bemühungen stand die Bekömmlichkeit der Gerichte

und das Wohlergehen der Gäste [5]. Ihr Sprachrohr fand die *nouvelle cuisine* im Feinschmecker-Magazin von Henri Gault und Christian Millau, wo u.a. bereits das Ende der schweren, auf Mehlschwitze beruhenden Saucen proklamiert wurde.

Die *nouvelle cuisine* kam schnell in Mode und einige Köche übertrieben in ihrem Eifer so sehr, dass Gemüsebeilagen fast roh serviert wurden [6]. Gleichzeitig schrumpften die Portionsgrößen ins Mikroskopische, während die Tellerdurchmesser und Preise explodierten. Im Spielfilm „Ödipussi“ brachte es Herr Winkelmann (alias Vicco von Bülow alias Lorient) in einem Nobelrestaurant beim Blick

DIE GROSSEN DREI DER FRANZÖSISCHEN KOCHKUNST: MARIE-ANTOINE CARÊME (1784-1833), AUGUSTE ESCOFFIER (1846-1935) UND PAUL BOCUSE (GEB. 1926)



links: Antoine Carême kochte nur in *grandes maisons*, wie beim Prinz Talleyrand-Périgord und später beim Zar und verfügte immer über beste Zutaten und ein beliebige Anzahl an Küchenpersonal. Seine Rezepte, die er ab 1815 publizierte, bestimmten die Saucenherstellung in der *haute cuisine* für fast ein ganzes Jahrhundert. Er führte erstmals die Saucenvielfalt auf wenige Grundsaucen zurück: die weißen *saucés allemande*, *béchamel* und *velouté*, sowie die braune *sauce espagnole*.

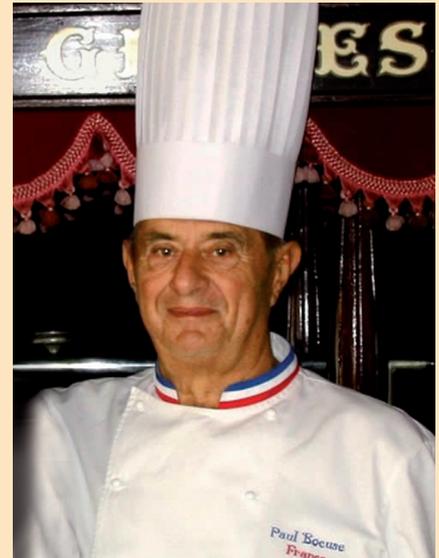
Mitte: Georges August Escoffier arbeitete nicht wie Carême für Fürsten und Könige, für die der finanzielle Aufwand nebensächlich war, sondern als Chefkoch in Gourmet-Restaurants und Luxushotels und musste wirtschaftlich arbeiten. Er rationalisierte die Küchenmannschaft, in dem für jeden Teilbereich ein Spezialkoch verantwortlich war, vom *plangeur* (Spüler) über den *pâtissier* (Konditor) und *potager* (Suppenkoch) bis zum *sauvier* (Saucenkoch). Das gleichzeitige Auftragen aller Speisen schaffte er ab, denn dadurch konnte zwar der Gastgeber mit Üppigkeit protzen, aber



der Gast musste den größten Teil der Speisen, vor allem die Saucen, kalt essen. Escoffier führte das Menü ein, d.h. die festgelegte Speisenfolge in verschiedenen Gängen. So kamen die verschiedenen Speisen warm und frisch zubereitet auf den Tisch.

Als Chefkoch des Londoner Ritz-Carlton herrschte er über eine 60-köpfige Küchenequipe und kreierte weltberühmte Gerichte wie z.B. Pfirsich Melba zu Ehren der Schauspielerin Nelly Melba. Er verbreitete den Ruhm der französischen Küche durch Kochbücher, allen voran seinen *Guide culinaire* mit fast 3000 Rezepten, eine auch heute noch benutzte Referenz in der *haute cuisine*.

rechts: Paul Bocuse absolvierte eine Kochausbildung und arbeitete viele Jahre bei Fernand Point im Drei-Sterne-Restaurant „La Pyramide“ in Vienne. Er gilt als einer der Väter der *nouvelle cuisine* und propagierte immer wieder eine auf marktfrischen Produkten basierende Küche, die sich nach den Jahreszeiten und den lokalen Traditionen orientiert. Paul Bocuse wurde ab 1965 40 mal in Folge mit drei Michelin-Sternen ausgezeichnet und



1989 ernannte Gault-Millau ihn zum „Koch des Jahrhunderts“. Viele seiner Schüler sind später bekannte Köche geworden, u. a. Franz Keller, Eckart Witzigmann und Heinz Winkler.

Bocuse ist ein ausgezeichnete Selbstdarsteller, der nicht nur sich selbst, sondern das auf Tee, Champagner, Wein, aber auch auf Marmeladen und Konserven klebende „Bocuse“-Siegel weltweit vermarktet. Als erster Küchenchef überhaupt wurde er in die französische Ehrenlegion aufgenommen und ist Träger des Bundesverdienstkreuzes 1. Klasse.

Falls Sie bei Lyon vorbei kommen sollten, können Sie unter www.bocuse.fr/accueil.aspx bei Paul Bocuse Plätze in seiner „L'Auberge du Pont de Collonges“ reservieren. Der Autor empfiehlt als Vorspeise die kleine „Trüffeluppe VGE“ für 80 €, die Bocuse zu Ehren des ehemaligen französischen Staatspräsidenten Valéry Giscard d'Estaing (VGE) kreiert hat. Oder Sie bestellen gleich das große Menu Grande Tradition Classique für € 210 (ohne Getränke).



auf seinen Teller auf den Punkt: „Das sieht – äh – sehr – übersichtlich aus!“.

Abgesehen von einigen Randerscheinungen war die *nouvelle cuisine* ein großer Fortschritt in Richtung einer ernährungsphysiologisch wertvollen Küche, deren Prinzipien sich in der Gastronomie inzwischen voll durchgesetzt haben.

Die chemische Basis von Saucen

In einer Sauce sind flüssige, bindende sowie geschmacks- und aromagibende Komponenten harmonisch miteinander vereint. Aus chemischer Sicht lassen sich Saucen nach dem Bindemittel unterteilen: abgelöschte Mehlschwitze, aufgeschlagene Emulsion aus Eigelb und Butter, Sahne oder Öl und schließlich Saucen, die durch ein Mus (*coulis*) verdickt werden, meist auf Gemüse- oder Obstbasis (Tabelle 1).

Bereiten wir die einfachste aller Saucen zu: Ein bisschen Öl, ein bisschen Essig, Salz, Pfeffer und dann kräftig mit dem Schneebesen schlagen: Fertig ist die *Sauce vinaigrette* (Rezept #1 und #2). Aus chemischer Sicht ist sie ein Gemisch aus Wasser (Essig) und Öl, das durch kräftiges Schlagen in eine *o/w*-Emulsion [7] überführt wurde, d.h. eine fein verteilte Flüssig-Flüssig-Dispersion. Leider hält die Emulsion nicht lange, denn schon nach wenigen Minuten haben sich Öl und Wasser getrennt. Daran kann auch das kräftigste Schütteln oder der Einsatz von Turbomixern nichts än-

dern, eine *Vinaigrette* hat nur eine kurze Lebensdauer. Auf der Suche nach dem „Wieso, weshalb, warum?“ beginnen wir mit einem einfachen Experiment. Mit einer Pipette spritzen wir unterhalb einer Wasseroberfläche etwas Öl heraus. Nach einigen Versuchen gelingt es mit entsprechendem Druck, eine Schar von Tröpfchen unterschiedlicher Durchmesser zu erzeugen (Abbildung 2).

Das Ergebnis überrascht nicht: Die Öltröpfchen steigen auf, die kleinen langsamer, die größeren schneller, und wenn zwei kleinere Tröpfchen zusammenstoßen, vereinigen sie sich zu einem größeren. Obwohl wir all das erwartet hatten, lohnt es, die Dinge zu hinterfragen:

Warum mischen sich Öl und Wasser nicht?

Warum sind die aufsteigenden Öltröpfchen kugelförmig?

Warum bilden sich kleinere Tröpfchen erst beim kräftigen Schütteln?

Warum fallen Tröpfchen zusammen?

Warum steigen kleine Tröpfchen langsamer nach oben als große?

Warum mischen sich Öl und Wasser nicht?

Die Ursachen für die Nichtmischbarkeit von Öl und Wasser liegt in deren chemischen Strukturen. Speiseöle (1) bestehen überwiegend aus langen Kohlenwasserstoffketten – $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$ (Abbildung 3). Da Kohlenstoff und Was-



TAB. 1 DIE SAUCES MÈRES (GRANDES SAUCES, GRUNDSAUCEN) DER KLASSISCHEN FRANZÖSISCHEN KÜCHE

Name (franz.)	Name (dtsh.)	Basis	Kurzrezept
<i>Sauce blanche</i>	Weißer Grundsauce	Mehlschwitze Wasser	Butter aufschmelzen, gleiche Menge Mehl einrühren, mit wenig kaltem Wasser angießen, aufkochen, restliches Wasser unter Rühren zugeben, salzen, pfeffern, 10 Minuten schwach kochen.
<i>Sauce veloutées</i>	Samtsaucen	Mehlschwitze helle Brühe	Wie weiße Sauce, statt Wasser helle Kalbs-, -Geflügel-, oder Fischbrühe zugeben, mit Pfeffer und Zitronensaft abschmecken.
<i>Sauce béchamel</i>	Bechamelsauce	Mehlschwitze Milch	Wie weiße Grundsauce, statt Wasser Milch (evtl. Brühe) zugeben, mit Muskatnuss abschmecken.
<i>Sauce espagnole</i>	Spanische Sauce	Mehlschwitze dunkle Brühe	Wie velouté nur mit dunkler Mehlschwitze und mit dunkler Fleischbrühe (Kalb, Rind, Wild) aufgießen.
<i>Sauce au beurre</i>	Buttersauce	Mehlschwitze Butter	Wie weiße Sauce nur doppelt so viel Butter wie Mehl, mit Wasser angießen und kochen, mit Salz und Zitronensaft abschmecken, Eigelb kann in der Hitze (nicht kochen) eingeschlagen werden (Deutsche Sauce).
<i>Sauce hollandaise</i>	Holländische Sauce	Eigelb Butter	In einen Stieltopf Eigelb und wenig Wasser geben, salzen, pfeffern. Den Topf in ein Wasserbad stellen und unter Schlagen mit einem Schneebesen weiche Butter in kleinen Stücken zugeben. Diese Sauce soll cremig wie Mayonnaise sein, mit Zitronensaft abschmecken.
<i>Sauce mayonnaise</i>	Mayonnaise	Eigelb Olivenöl	Eigelb in Schüssel schlagen, salzen pfeffern, Senf und ein wenig Essig oder Zitronensaft zugeben, Olivenöl einschlagen.
<i>Sauce tomate</i>	Tomatensauce	Gemüse, Tomatenpüree	Gemüse anbraten, Mehl zugeben und wie eine Mehlschwitze behandeln, Tomatenpüree, Brühe, etwas Knoblauch, Pfeffer und Salz zugeben, eineinhalb Stunden kochen und durch ein Tuch oder feinen Filter seihen.

Carême hat als Erster die Saucenvielfalt auf vier Grundsaucen zurückgeführt, später erweiterte Escoffier die Zahl auf Fünf. Die Einteilung ist nicht streng und in der Gruppe der weißen Saucen gibt es unterschiedliche Bewertungen. Viele Autoren sehen in der Béchamel eine Grundsauce, dagegen erklärt Bocuse die Au Beurre zur Grund- und die Béchamel als zur daraus abgeleiteten Sauce [21]. Vom Rezept her erscheint die Sauce blanche (Weiße Sauce) die eigentliche Grundsauce zu sein, da die Mehlschwitze ausschließlich mit Wasser aufgenommen wird.



serstoff nahezu gleiche Elektronegativität besitzen, verteilen sich die Bindungselektronen annähernd symmetrisch, d.h. weder die Kohlenstoff- noch die Wasserstoffatome tragen Partialladungen; Fette und Öle sind eben völlig unpolar. Zwischen den Ölmolekülen kommt es bei Annäherung zu einer Wechselwirkung, beide Moleküle synchronisieren ihre Elektronenverteilung so, dass vorübergehend wechselseitig anziehende Dipolmomente entstehen. Diese schwache Wechselwirkung nimmt mit der sechsten Potenz des Abstandes ab, ist also nicht weit reichend.

Im Wassermolekül besteht dagegen zwischen Wasserstoff und Sauerstoff ein großer Elektronegativitätsunterschied, der Sauerstoff ist partiell negativ und beide Wasserstoffatome sind partiell positiv geladen. Da jedes H_2O -Molekül zwei positivierete Wasserstoffatome und zwei freie Elektronenpaare am Sauerstoff besitzt, ist jedes Sauerstoffatom tetraedrisch über Wasserstoffatome mit vier weiteren Sauerstoffatomen verbunden.

Dieses feste dreidimensionale Netzwerk von Wasserstoffbrücken erklärt den außerordentlich hohen Siedepunkt des Wassers von 100°C im Vergleich zu den analogen Wasserstoffverbindungen der Elemente in unmittelbarer Nachbarschaft zum Sauerstoff im Periodensystem (Methan CH_4 Sdp. = $-161,5^\circ\text{C}$; Ammoniak NH_3 Sdp. = $-33,4^\circ\text{C}$; Fluor-

wasserstoff HF Sdp. = $19,5^\circ\text{C}$; Schwefelwasserstoff H_2S Sdp. = $-60,3^\circ\text{C}$).

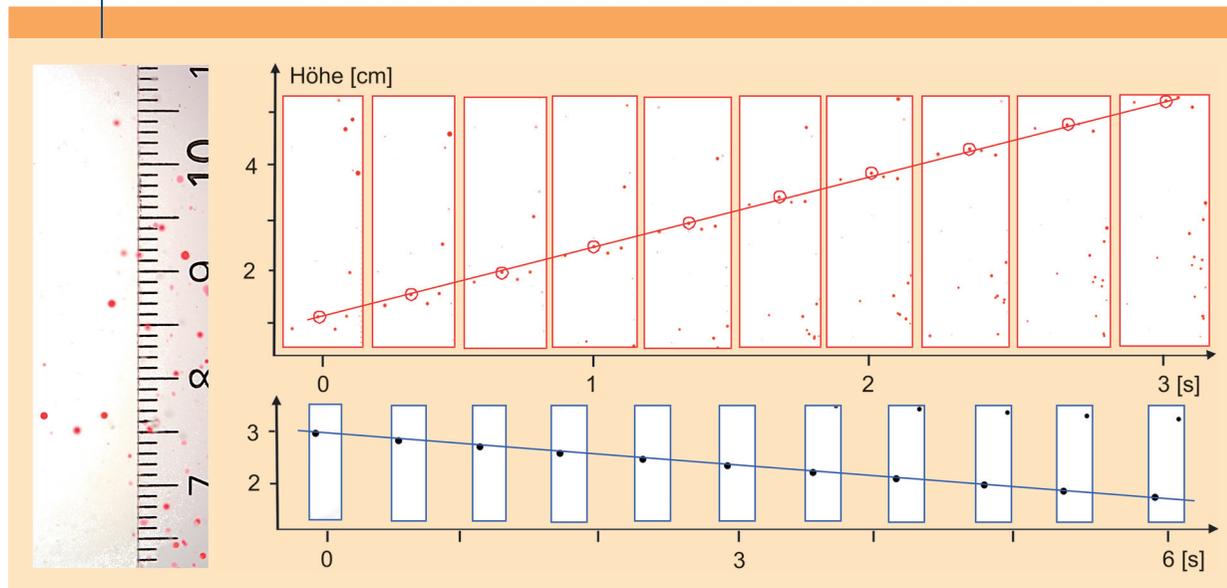
An der Grenzfläche zwischen Öl und Wasser treffen somit zwei Flüssigkeiten aufeinander, wie sie unterschiedlicher nicht sein können, die eine polar, die andere völlig unpolar, die eine über starke intermolekulare Wasserstoffbrücken und die andere über schwache Van-der-Waals Wechselwirkungen zusammengehalten. Eine stabilisierende Wechselwirkung zwischen den beiden ist nicht möglich, sie sind nicht mischbar.

Warum sind Öltröpfchen in Wasser und Wassertröpfchen in Öl kugelförmig?

Kommen zwei miteinander nicht mischbare Flüssigkeiten in Kontakt, bildet sich zwischen beiden eine Grenzfläche. Für die Bildung dieser Grenzfläche wird Energie verbraucht. Da alle freiwillig ablaufenden Änderungen in der Natur einen energetisch stabileren Endzustand anstreben, versuchen die beiden nicht mischbaren Flüssigkeiten die zwischen ihnen liegende Grenzfläche so klein wie möglich zu halten.

Wenn eine kleine Menge Wasser in Öl nach unten sinkt, wird sie eine geometrische Form annehmen, die bei gegebenem Volumen die kleinstmögliche Oberfläche besitzt. Ein Vergleich zwischen Würfel und Kugel verdeutlicht dies:

ABB. 2 DAS VERHALTEN VON ÖLTRÖPFCHEN IN WASSER UND VON WASSERTRÖPFCHEN IN ÖL



links: In ein mit Wasser (Speiseöl [24]) gefülltes Gefäß wurde unter der Flüssigkeitsoberfläche mit einer Pipette rot gefärbtes Speiseöl (dunkelblau gefärbtes Wasser) eingespritzt. Die Bewegung der sich auf- bzw. abwärts bewegenden Tröpfchen wurde mit einer Digitalkamera mit drei Bildern pro Sekunde verfolgt. Abgebildet sind die Originalaufnahmen.

Die Auf- und Abstiegsgeschwindigkeiten können mit Gleichung (4) theoretisch berechnet werden, die nach Einsetzen aller bekannter Größen folgende vereinfachte Form annimmt: $v = 0,0545 \cdot d^2 / \eta$, wobei d in mm, ρ in g/cm^3 und η in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ einzusetzen sind. links: In Wasser aufsteigende kugelförmige, rot gefärbte Öltröpfchen. Mit dem handelsüblichen Schullineal wird die Position gemessen. rechts oben: Einzelaufnahmen von aufsteigenden, roten Öltröpfchen in Wasser. Für ein ausgewähltes Öltröpfchen (Durchmesser 0,7 mm) wurde die Aufstiegsgeschwindigkeit in Wasser von $13,7 \text{ mm/s}$ gemessen, theoretisch werden 18 mm/s erwartet. Angesichts der vereinfachten Formeln und der primitiven Versuchsanordnung ein ausgezeichnete Übereinstimmung. rechts unten: Einzelaufnahmen von absteigenden, dunkelblauen Wassertröpfchen in Speiseöl. Für ein ausgewähltes Wassertröpfchen (Durchmesser 1,75 mm) wurde experimentell eine Aufstiegsgeschwindigkeit in Speiseöl von $1,9 \text{ mm/s}$ gemessen, theoretisch werden $1,68 \text{ mm/s}$ erwartet. Auch hier eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

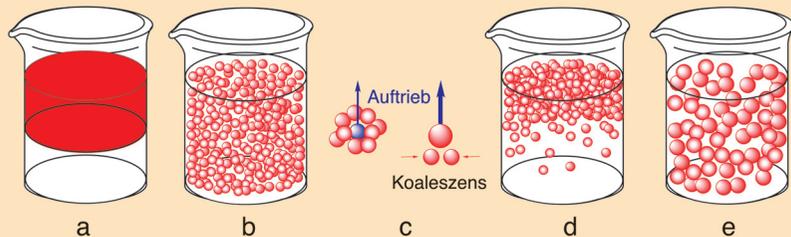


$$\Delta E = \gamma \cdot \Delta A \quad (1)$$

wobei γ die Oberflächenspannung der Phasengrenze Öl/Wasser und A die Grenzfläche ist.

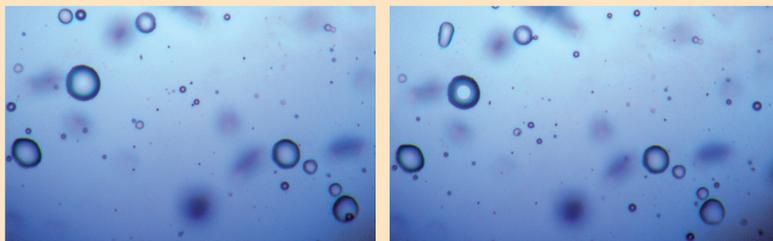
Mit $\gamma = 35$ [mN/m] für die Phasengrenze Öl/Wasser [8], kostet jeder neue Quadratzentimeter Grenzfläche $3,5 \cdot 10^{-6}$ [J]. Ein lächerlich geringer Energieaufwand! Eine kleine

ABB. 4 DIE PHASENTRENNUNG EINER SAUCE VINAIGRETTE



Oben: Beim kräftigen Schütteln einer zunächst getrennten Öl-Wasser-Mischung (a) wird ein Teil der Energie zur Bildung neuer Öl-Wasser-Grenzflächen verwendet, d.h. es bilden sich kleine, im Wasser schwimmende Öltröpfchen (b). Diese Emulsion ist energiereicher als die überschichteten Phasen in (a), einmal wegen der größeren Grenzfläche und zum anderen wegen der Gleichverteilung der leichteren Ölphase im Wasser. In zwei voneinander unabhängigen Prozessen kehrt das System in seinen energieärmeren Anfangszustand zurück. Einmal wirkt auf jedes einzelne Öltröpfchen die Auftriebskraft, die es nach oben treibt und dabei potentielle Energie zurückgewinnt (c). Beim Aufstieg sammeln sich die Tröpfchen an der Oberfläche (d). Diesen Prozess bezeichnet man als Aufrahmen (engl. creaming). In einem zweiten, unabhängigen Prozess können zwei zusammenstoßende Öltröpfchen sich zu einem größeren Tropfen vereinen (e). Durch die Verringerung der Gesamtgrenzfläche wird die Oberflächenenergie in Form von Wärme frei.

In aller Regel laufen beide Prozesse nebeneinander ab. Im Modellversuch für eine Vinaigrette wurde Speiseöl mit Sudanrot angefärbt (links), eine Emulsion durch starkes Schütteln erzeugt (Mitte) und bereits nach wenigen Minuten haben sich beiden Phasen praktisch vollständig voneinander getrennt.



Während die aufsteigenden Tröpfchen mit bloßem Auge leicht verfolgt werden können, ist die Koaleszenz besser unter dem Mikroskop zu beobachten. Auch hier wurde eine einfache o/w-Emulsion durch Schütteln hergestellt und die beiden Fotos im Abstand von 20 s gemacht. Deutlich ist das Zusammenfallen zweier Tropfen links oben zu beobachten.

Überschlagsrechnung zeigt aber, warum untrainierte Hobbyköche diesen „lächerlichen Energieaufwand“ beim Schlagen mit dem Schneebesen verfluchen. Wenn wir einen 1 ml Tropfen Öl ($V = 4,84$ cm³) in eine Milliarde (10^9) Tröpfchen zerschlagen, hat jedes Tröpfchen einen Durchmesser von 12,4 μ m, ein für Mayonnaise typischer Wert. Die Oberfläche eines Tröpfchens beträgt dann $4,84 \cdot 10^{-6}$ cm² und die aller 10^9 Tröpfchen 4840 cm². Zur Herstellung dieser Oberfläche mussten rund 17 Millijoule aufgewendet werden. Auch dieser Wert erscheint gering, jedoch verpufft der größte Teil der von uns mit dem Schneebesen oder beim Schütteln erzeugten mechanischen Energie beim Bewegen der Flüssigkeit als Reibungswärme, nur ein kleiner Bruchteil davon zerschlägt tatsächlich die Tröpfchen.

Warum fallen kleine Tröpfchen wieder zusammen?

Die Antwort ergibt sich fast von selbst: Beim Zerschlagen von Öltröpfchen wird neue Oberfläche erzeugt und dafür muss Energie zugeführt werden. Umgekehrt, wenn Öltröpfchen zusammenfallen, verringert sich die Oberfläche und ein energieärmerer Zustand wird erreicht. Genau dies streben alle freiwillig ablaufenden Vorgänge an und so geschieht es auch in diesem Fall.

Warum steigen große Tröpfchen schneller nach oben als kleine?

Nach dem Austreten aus der Kapillare steigen die Öltröpfchen nach oben, denn sie sind leichter ($\rho_o = 0,9$ g/ml) als Wasser ($\rho_w = 1,00$ g/ml). Auf ein Öltröpfchen wirkt die Auftriebskraft [8,9]

$$F_A = m \cdot g = (\pi/6) \cdot (\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot d^3 \quad (2)$$

Beim genauen Beobachten erkennt man, dass nach kurzer zurückgelegter Strecke die Aufstiegs geschwindigkeit der Tröpfchen konstant, also unbeschleunigt ist (Abbildung 2). Dies rührt daher, dass ein aufsteigendes Öltröpfchen die Wassermoleküle auseinander drücken muss; das ist nichts anderes als Reibung. Für eine starre Kugel mit dem Durchmesser d in einem Medium der Viskosität η gilt für die Reibungskraft F_R das Stokesche Gesetz:

$$F_R = 3 \pi \cdot \eta \cdot d \cdot v \quad (3)$$

Wenn die Aufstiegs geschwindigkeit v konstant wird, sind die Auftriebskraft und die entgegen gerichtete Reibungskraft gleich groß. Dann gilt

$$v = g \cdot (\rho_w - \rho_o) \cdot d^2 / (18 \eta) \quad (4)$$

Die Aufstiegs geschwindigkeit von Öltröpfchen in Wasser und die Sinkgeschwindigkeit von Wassertropfen in Öl hängen vom Quadrat des Durchmessers der jeweiligen Tröpfchen ab, je kleiner das Tröpfchen je langsamer bewegt es sich (Abbildung 2).

Für die Aufstiegs geschwindigkeit von Öltröpfchen in Wasser können folgende typische Werte berechnet werden:

$$\begin{aligned} d_o = 0,1 \text{ mm} & & v_o = 0,5 \text{ mm/s} \\ d_o = 1,0 \text{ mm} & & v_o = 50 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Da die Viskosität von Speiseöl mit $\eta_o = 0,09$ kg \cdot m⁻¹ \cdot s⁻¹ [10] wesentlich viskoser ist als die von Wasser ($\eta_w =$



$10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), sinkt ein Wassertropfen im Speiseöl wesentlich langsamer nach unten. Typische Werte sind:

$$\begin{aligned} d_w &= 0,1 \text{ mm} & v_w &= 5,5 \text{ } \mu\text{m/s} \\ d_w &= 1,0 \text{ mm} & v_w &= 0,55 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Das thermodynamische Schicksal jeder Sauce vinaigrette

Fassen wir die Schlussfolgerungen aus unseren Überlegungen bei der Zubereitung einer Vinaigrette zusammen:

Die Zubereitung einer Vinaigrette ist anstrengend! Eine Sauce vinaigrette kann nur durch kräftiges Schütteln in eine Emulsion verwandelt werden. Bei der Verkleinerung der Öltröpfchen vergrößert sich deren Gesamtoberfläche und dafür müssen wir mechanische Energie aufbringen.

Die Freude an einer emulgierten Vinaigrette ist nur von kurzer Dauer! Die zwei Phasen trennen sich schnell voneinander. Einmal steigen alle Öltröpfchen aufgrund ihres geringeren spezifischen Gewichts im Wasser auf und zusätzlich fallen sie bei Berührung zusammen. Dabei werden die Tröpfchen größer und steigen noch schneller auf. Auftrieb und Koagulation führen zur Phasentrennung (Abbildung 4).

Gleichung (2) zeigt zwei Wege auf, eine instabile o/w-Emulsion zu stabilisieren:

- Die Verringerung der Beweglichkeit der Öltröpfchen durch Erhöhung der Viskosität der wässrigen (externen) Phase.
- Verkleinerung des Durchmessers der Öltröpfchen.

Die Viskosität der wässrigen Phase könnte einmal durch Abkühlen geringfügig erhöht werden. Aber, wer will schon eine eiskalte Sauce essen? Alternativ könnte man in der wässrigen Phase kleinste Feststoffpartikel fein verteilen. Die

Viskosität η dieser angedickten Emulsion würde sich wie folgt erhöhen [11]:

$$\eta = \eta_0 (1 - \phi)^{-2,5\phi}$$

wobei η_0 die Viskositäten des Wassers und ϕ das Volumenverhältnis der festen zur wässrigen Phase sind. Nach Zugabe von 20 % Feststoffpartikeln würde sich die Aufstiegs- geschwindigkeit der Öltröpfchen nach Gleichung (3) etwa halbieren. Tatsächlich werden einige Saucen auf diese Weise angedickt, z.B. durch Zugabe von Tomatenmark. Aber das ist dann keine Vinaigrette mehr.

Auch dem stärkeren mechanischen Zerkleinern der Öltröpfchen sind Grenzen gesetzt; bei stärkerem Schütteln, Einsatz von Küchenmaschinen oder Ultraschallbädern gelingt zwar die Herstellung kleinerer Öltröpfchen, aber auch die fallen nach kurzer Zeit zusammen und steigen auf. Resigniert müssen wir feststellen, dass die gnadenlose Thermodynamik einer *Sauce vinaigrette* nicht die geringste Chance lässt.

Wie die Mayonnaise der Thermodynamik ein Schnippchen schlägt

Bei dieser thermodynamisch hoffnungslosen Ausgangs- situation kann uns beim Weg von der instabilen *Vinaigrette* zu cremigen Mayonnaise nur pfiffige Chemie helfen [12]. Gesucht sind also Zutaten, die Folgendes bewirken:

- Erniedrigung der Oberflächenspannung, um bei gleichem mechanischen Energieaufwand kleinere Tröpfchen bilden zu können (Gleichung (1)).
- Erschwerung der Koagulation der Tröpfchen.
- Erhöhung der Viskosität der wässrigen Phase zur Verringerung der Beweglichkeit der Öltröpfchen nach Gleichung (4).

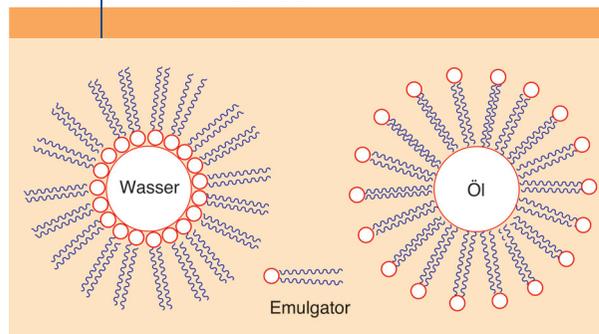
Mit anderen Worten: Tenside, Verdickungsmittel und Anti-koagulantien müssen her, jedoch dürfte nicht nur bei Dreisterne-Köchen allein das Erwähnen dieser Begriffe das blanke Entsetzen hervorrufen. Beruhigen wir sie mit dem Hinweis, dass nicht nur Bocuse, sondern Köche und Hausfrauen seit Jahrhunderten dieses Wundermittel in jeder Küche vorrätig haben, und schmecken tut es obendrein: das Eigelb. Es grenzt wirklich an ein Wunder, wie mit nur wenig Eigelb aus einer Öl/Wasser-Mischung eine hochviskose, stabile und himmlisch cremige Masse wird. Die Herstellung einer *Mayonnaise* ist ein chemisches Kleinod, das es wirklich wert ist, näher untersucht zu werden und je tiefer man die chemische Basis der Mayonnaisen-Herstellung ergründet, um so höher steigt unsere Hochachtung vor dem kleinen Eigelb und seinem Schöpfer, der Henne.

Die Chemie eines Eigelbs

Die Zusammensetzung eines Hühnereis (Tabelle 2) und des hier im Mittelpunkt stehenden Eigelbs gibt uns erste Hinweise auf dessen chemische Wirkung. Ein Hühnereigelb enthält etwa 6 g Phospholipide mit Phosphatidylcholin (Lecithin, 2) und -ethanolamin (3) als Hauptbestandteile. Phospholipide sind Moleküle, die gleichzeitig ein lipophiles (gr. fettliebendes) und ein hydrophiles (gr. wasserliebendes)



ABB. 5 PHOSPHOLIPIDE



Die emulgierende Wirkung von Phospholipiden. Die wichtigsten Emulgatoren des Eigelbs sind Phosphatidylcholin (Lecithin) und Phosphatidylethanolamin (Cephalin), in denen eine zwitterionische, polare Gruppe mit einem deprotonierten Phosphorsäurediester und einer quaternären Ammoniumgruppe (rote Kugel), und zwei unpolare langkettige Fettsäurereste an Glycerin gebunden sind. Je nach Herstellungsart können o/w- oder w/o-Emulsionen entstehen. Die Phospholipide stabilisieren beide Emulsionstypen, in dem die unpolare Fettsäurereste zum Öl und die polare Gruppen zum Wasser ausgerichtet sind. In beiden Fällen wird die Oberflächenspannung herabgesetzt und die Stabilität der fein verteilten Tröpfchen erhöht.



Molekülteil enthalten (Abbildung 3). Die Phospholipide reichern sich an der Öl/Wasser-Grenzfläche an, wobei der lipophile Molekülteil in das Öl und der hydrophile zum Wasser gerichtet sind (Abbildung 5). Diese gerichtete molekulare Belegung der Grenzfläche erniedrigt die Oberflächenspannung, damit sind die Phospholipide sehr wirkungsvolle Tenside. Nach Gleichung (1) lässt sich bei verringerter Oberflächenspannung eine größere Grenzfläche mit geringerer Energiezufuhr erzeugen, das Zerkleinern der Tröpfchen wird dadurch erleichtert.

Aber halt! Phospholipide können sowohl *o/w*- als auch *w/o*-Emulsionen stabilisieren (Abbildung 5). Für die abschließliche Herstellung des richtigen *o/w*-Emulsionstyps braucht man schon ein wenig *Know-how* und etwas Übung. Anfänger in der Mayonnaisen-Kunst wollen es ganz schlaun machen und geben alle Zutaten (Öl, Essig und Eigelb) auf einmal in eine Schüssel und schlagen dann mit dem Schneebesen wie wild herum. Das kann nichts werden, denn dabei entsteht nur eine ölige, kulinarisch völlig uninteressante *w/o*-Emulsion. Die Rezepte #3 und #4 zeigen, wie es geht: Erst das Eigelb mit Essig mischen, dann das Öl zugeben, am Anfang langsam und am Ende schneller. Warum nur so? Ganz einfach: Eidotter ist bereits eine *o/w*-Emulsion, dessen Charakter durch vorsichtiges Einrühren von Öl erhalten bleiben soll. Die relativ hohe Viskosität des Eigelbs sorgt dafür, dass am Anfang die Scherkräfte beim Schlagen mit dem Schneebesen hoch sind. Das macht diese Tätigkeit zwar anstrengend, aber effektiv und es entstehen besonders kleine Öltröpfchen (zwischen 1 µm und einigen 10 µm). Durch erst vorsichtige und später raschere Ölzugabe gelingt es, den *o/w*-Emulsionstyp bis zur fertigen Mayonnaise zu erhalten.

Für die Stabilität ist neben den kleineren Tröpfchen die antikoagulierende Wirkung des Lecithins wichtig. Beim Zusammenstoßen von zwei Öltröpfchen kommen nicht mehr die beiden Öl-Oberflächen direkt, sondern die beiden Lecithinschichten mit ihren polaren Gruppen zusammen. Diese Verhinderung des direkten Kontakts zwischen dem Öl in

beiden Öltröpfchen verhindert das Zusammenfließen, die Öltröpfchen sind wesentlich stabiler.

TAB. 2

Ei	Gew.%
Eiklar	58
Eigelb	31
Schale	11

Chemische Zusammensetzung von Eigelb [22,23]

Eigelb	Gew.%
Wasser	48,0
Proteine	17,5
Lipide	32,5
Mineralien	2,0

Lipide	Gew.%
Fette (Triacylglyceride, 1)	66
Phospholipide	28
Cholesterin	6

Eine gute Mayonnaise besteht zu über 80% aus Öl [13], d.h. das Volumen der Öltröpfchen ist viermal so groß wie die externe wässrige Phase. Dieser hohe Wert macht stutzig, denn beim Stapeln von gleichgroßen Kugeln kann maximal eine Raumerfüllung von rund 74% erreicht werden (dichteste Kugelpackung). Ein höhe-

rer Wert ist nur möglich, weil die Öltröpfchen unterschiedlich große Durchmesser haben und von der idealen Kugelform abweichen. Beides kann unter dem Mikroskop in Delikatess-Mayonnaise sehr schön beobachtet werden (Abbildung 6) [14].

Durch die hohe Packungsdichte können sich einzelne Öltröpfchen nicht unabhängig von den Nachbarn bewegen und die Viskosität der *o/w*-Emulsion nimmt zu. Auf den ersten Blick hätten wir damit den Einfluss des Eigelbs auf die kulinarisch entscheidenden Eigenschaften der Mayonnaise vollständig erklärt: Die oberflächenaktiven Phospholipide (vor allem Lecithin) erleichtern die Herstellung kleinster Öltröpfchen und die Belegung der Oberfläche verhindert das Zusammenfallen der Öltröpfchen, die hohe Packungsdichte von über 80% erhöht die Viskosität und erschwert die Beweglichkeit der Öltröpfchen und wirkt einer Phasentrennung entgegen.

Warum ist für die Mayonnaise nur Eigelb das Gelbe vom Ei?

Die extrem hohe Viskosität der Mayonnaise kann mit der dichten Packung der Öltröpfchen allein nicht erklärt werden. Es muss noch mehr dahinter stecken. Einen wichtigen Hinweis geben uns die überlieferten Rezepte und die Erfahrungen der Köche. Mayonnaise wird immer mit Essig oder auch Zitronensaft zubereitet und hat dann einen pH-Wert < 5. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einem pH-Wert = 4 etwa die Viskosität ein Maximum erreicht [15]. Für eine tiefere Analyse müssen wir uns zunächst genauer mit dem Aufbau eines Eigelbs befassen.

Eidotter ist eine *o/w*-Emulsion und enthält zwei verschiedene Partikel, die Dottertröpfchen und die Granulen. Die etwa 15-45 µm großen Dottertröpfchen bestehen aus einem Fettkern und einer Hülle aus Lipoproteinen niedriger Dichte (LDL, *low density lipoprotein*), die in der Mayonnaise in die Grenzschicht der emulgierten Tröpfchen eingelagert werden und die Emulsionsbildung fördern. In den kleineren, nur etwa 1 µm großen Granulen sind Lipoproteine höherer Dichte (HDL, *high density lipoprotein*) und Phosvitin enthalten. Der Phosvitin-Gehalt des Eigelbs beträgt hohe 2,1% und das Phosvitin ist in Hinblick auf seine Aminosäurezusammensetzung außergewöhnlich, denn fast jede dritte Aminosäure ist Serin. Weiterhin ist bemerkenswert, dass die Hydroxylgruppen der Serin-Seitenketten so häufig mit Phosphorsäure verestert sind, das Phosvitin einen gewaltigen Phosphorgehalt von 10% hat. Bei der Mayonnaisenherstellung bildet Phosvitin mit Proteinen aus den Dottertröpfchen einen faserartigen

Phosvitin mit Proteinen aus den Dottertröpfchen einen faserartigen

Phospholipide	Gew.%
Phosphatidylcholin (Lecithin, 2)	73
Phosphatidylethanolamin (Cephalin, 3)	15,5
weitere Phospholipide	11,5

Komplex an der *o/w*-Grenzfläche [16]. Aber nicht nur Phosvitin al-



lein, sondern weitere Proteine, Phospholipide und Fette des Eidotters stabilisieren die *o/w*-Grenzfläche [17] (Abbildung 7). Die komplex geschichtete Überstruktur aus gerichteten Phospholipiden, Fettmolekülen (Triglyceride), Proteinen und Lipoproteinen verhindert einmal die Koagulation der Tröpfchen. Zusätzlich jedoch erfolgt eine Wechselwirkung zwischen den polaren, aber nach außen elektrisch neutralen Gruppen der Phospholipide und den Seitenketten der eingelagerten Proteine zu benachbarten Öltröpfchen. Insgesamt wirkt das Geflecht der verschiedenen Wechselwirkung wie ein Klebstoff, der die Tröpfchen zusammenhält, aber nicht zusammenfallen lässt. Für eine optimale „Verklebung“ der Tröpfchen darf die Oberfläche durch die ionischen Molekülteile der Komponenten nicht elektrisch aufgeladen sein, da sich sonst die gleichsinnig geladenen Tröpfchen voneinander abgestoßen würden und sich leicht gegeneinander verschieben ließen. Dann würde die Viskosität abnehmen. Die Ladungsdichte auf der Oberfläche der Öltröpfchen wird entscheidend durch den pH-Wert der wässrigen Phase bestimmt. Ein zu geringer (saurer) pH-Wert würde die Seitenketten protonieren, also positiv aufladen und ein zu hoher pH-Wert würde entsprechend deprotonierend wirken und die Oberfläche negativ werden lassen. Aus diesem Grund ist die richtige Essigmenge bei der Zubereitung einer Mayonnaise wichtig, damit die Summe der positiven und negativen Ladungen der Oberflächenproteine möglichst gleich ist (isoelektrischer Punkt) und dies wird etwa bei $\text{pH} = 4$ erreicht.

Der Zusatz von Kochsalz zur Mayonnaise hat nicht nur geschmackliche Gründe. Bei hohen Salzkonzentrationen zerfallen die Granulen des Eidotters und setzen neben großen Mengen an Phospholipiden auch das für die Bildung von stabilen Grenzflächen wichtige Phosvitin frei. Daher

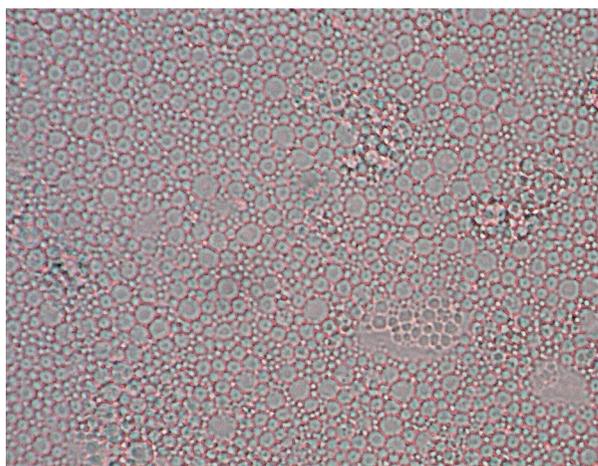


Abb. 6 Mayonnaise unter dem Mikroskop. Ein Ölgehalt einer Delikatess-Mayonnaise von über 80% kann nur erreicht werden, wenn die Öltröpfchen einmal unterschiedliche Durchmesser haben, so dass entstehende Zwischenräume von kleineren Tröpfchen ausgefüllt werden oder wenn die Tröpfchen nicht starre Kugeln sind, sondern sich dem zur Verfügung stehenden Volumen anpassen. Unter dem Mikroskop kann beides beobachtet werden.

ist es sinnvoll, bereits zu Beginn das Salz dem Eigelb zuzusetzen, um das Aufschlagen bei maximalen Konzentrationen von Lecithin und Phosvitin durchzuführen.

Beim Zubereiten einer Mayonnaise nach den Rezepten 3 und 4 mag man sich fragen, wie viele Eigelbe eigentlich notwendig sind, um eine stabile Mayonnaise zu erhalten. McGee [18] hat diese Frage experimentell beantwortet: Ein Eigelb reicht aus, um über 20 l Mayonnaise herzustellen. Allerdings nimmt die Cremigkeit ab, die geringere Konzentration der Dotterfarbstoffe Zeaxanthin 4 und Lutein 5 lässt die hellgelbe Farbe verblassen und in der fertigen Mayonnaise kann man das wunderbare Aroma des Eigelbs nur noch erahnen.

Die Angst des Feinschmeckers vor der eigenen Mayonnaise

Leider ist ein geringer Teil der Hühnereier an der Schalenoberfläche und auch im Ei selbst mit Salmonellen kontaminiert (Abbildung 8). Für die meisten Eierspeisen ist dies kein Problem, da Salmonellen durch Kochen und Braten vollständig abgetötet werden. Bei kalter Zubereitung von Roheiern kann jedoch eine Infektion nicht ausgeschlossen werden und Massenausbrüche von Salmonellose treten immer wieder in Großküchen, Altenheimen und Restaurants auf, wenn die hygienischen Vorschriften nicht beachtet werden. Meist waren zu lange bei sommerlichen Temperaturen gelagerte süße Eierspeisen die Ursachen, aber gelegentlich ist auch Mayonnaise der Ausgangspunkt der Infektion [19]. In vielen Ländern, wie den USA, empfehlen die Gesundheitsbehörden daher völlig auf den Genuss von Roheiern zu verzichten. Schauen wir aber erst einmal genauer hin. Nach Angaben des Bundesinstituts für Risikobewertung werden in Deutschland jährlich rund 60.000 Infektionen bei Menschen mit *Salmonella enteritidis* und *S. typhimurium* gemeldet. Von insgesamt 10.000 untersuchten Konsumeiern waren nur in 0,57% der Fälle Salmonellen nachweisbar. Eine gesundheitliche Bedrohung ergibt sich allerdings immer erst dann, wenn sich die Salmonellen bei sommerlichen Temperaturen in einer über längere Zeit ungekühlten Eierspeise ungestört vermehren können. Durch Einhaltung der folgenden Vorsichtsmaßnahmen und mit gesundem Menschenverstand kann eine Salmonellenvergiftung in der heimischen Küche praktisch ausgeschlossen werden.

- Sauberkeit in der Küche ist oberstes Gebot. Alle Arbeitsgeräte (Arbeitsflächen, Besteck, Geschirr etc.) nach Kontakt mit Eiweiß, -gelb oder- schalen gründlich reinigen.
- Nur frische Eier verwenden.
- Die Mayonnaise immer frisch herstellen und bald verzehren und sonst im Kühlschrank unterhalb von $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ höchstens zwei Tage aufbewahren

Im Falle der Mayonnaise verhindert zusätzlich der hohe Essiggehalt das bakterielle Wachstum [20].

Ab und zu sollte man sich eine selbst zubereitete Mayonnaise gönnen, aber bitte nur mit bestem Olivenöl, gutem Weißweinessig und frisch gemahlenem Pfeffer. Mit min-





derwertigen Zutaten würde sich der ganze Aufwand nicht lohnen. Zugegeben, Mayonnaise ist für Kalorienzähler ein Gräuel, aber wenn die überirdisch sämige Mayonnaise auf

der Zunge zergeht und das zarte Aroma des Eigelbs von der frischen Säure des Weinessigs ergänzt wird, dann sind alle Kalorien vergessen. Mit der an so mancher Pommesbude vergossenen Masse namens „Majo“ hat das wenig zu tun. Egal, was man unter einer selbst bereiteten Mayonnaise versteckt, ob Fisch, Geflügel oder Gemüse, man schwebt immer auf einer Drei-Sterne-Wolke.

ABB. 7 | DIE GRENZFLÄCHE IM MODELL

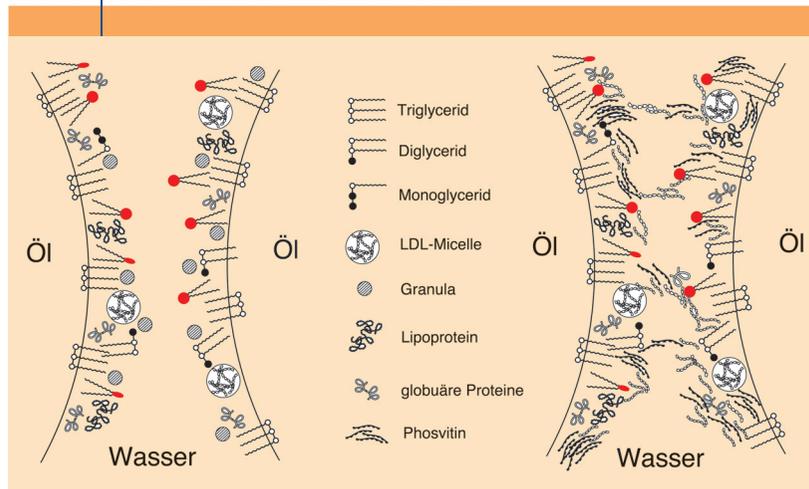


Abb. 7 Modell der Öl/Wasser-Grenzfläche in Mayonnaise [25]. Die ungewöhnlichen Fließeigenschaften von Mayonnaise lassen sich nur mit einem komplexen mehrschichtigen Aufbau der Grenzfläche erklären. Wechselwirkungen zwischen den Glyceriden, den Phospholipiden und den Lipoproteinen führen zu einer sehr stabilen und vollständig belegten o/w-Grenzfläche (links). Die in vielen Rezepten vorgeschriebenen Essigmenge bringt die Mayonnaise in einen Bereich mit $\text{pH} < 5$, bei dem die ionischen Seitenketten der Aminosäuren in den verschiedenen Proteinen ein Ladungsminimum erreichen. Dies ermöglicht eine bindende Wechselwirkung zwischen den Molekülen auf den Oberflächen benachbarter Öltröpfchen. Dadurch ist die Beweglichkeit der Tröpfchen stark eingeschränkt und die Viskosität nimmt zu. Besonders kleine und stabile Öltröpfchen entstehen, wenn sich nach Zugabe von Kochsalz die Granula auflösen (rechts) und die im Innern vorhandenen Phospholipide und vor allem das Faserstrukturen ausbildende Phosvitin freigesetzt wird.



Abb. 8 Salmonellen. Salmonellen (hier *Salmonella typhimurium*) sind stäbchenförmige Bakterien (rot eingefärbt), die bei einer Infektion zu Durchfallerkrankungen führen. Die Krankheit heilt meist spontan aus und wird deswegen nicht mit Antibiotika behandelt. In Risikogruppen (alte Menschen, Säuglinge, Immungeschwächte) können schwere Krankheitsbilder entstehen, die auch zu Todesfällen führen können. Fälle von Salmonellose sind meldepflichtig.

Zusammenfassung

In der Drei-Sterne-Küche werden kulinarische Kreationen mit einer von über 3000 erprobten Saucen gekrönt. Die unübersehbare Vielfalt lässt sich auf wenige Grundsaucen zurückführen, wobei die mit Eigelb aufgeschlagenen Saucen eine besonders große Rolle spielen. Tatsächlich grenzt die emulgierende Wirkung eines einzigen Eigelbs schon an ein Wunder. Die physikalisch-chemischen Grundlagen der instabilen und stabilen aufgeschlagenen Saucen werden analysiert und die chemische Rolle des Eigelbs bei der Saucenbildung untersucht. Rezepte aus Standardkochbüchern und von Paul Bocuse sollen Lust auf eigenes experimentelles Erproben machen.

Danksagung

Für die Hilfe bei den mikroskopischen Arbeiten danke ich S. Steller, Prof. C. Bolte von der Chemiedidaktik und Dr. B. Richter vom NatLab der FU Berlin und Frau Dr. P. Winchester, FU Berlin, für die Durchsicht des Manuskripts. Dem Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin und Dr. Gerd Harzer, Kraft Foods Deutschland, danke ich für Ihre fachliche Hilfe, dem *American Egg Board* und dem *National Institute of Allergy and Infectious Disease* für die Abdruckgenehmigung von Fotomaterial.

Literaturverzeichnis

- [1] Bleiben wir aber bescheiden. Nur weil in der Chemieausbildung Analysen und chemische Präparate „gekocht“ werden, ist man noch lange kein Koch. In dessen Ausbildung wird die Theorie und das handwerkliche Können mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad über Jahre Schritt für Schritt erlernt, immer wieder praktisch geübt und weiter perfektioniert.
- [2] *Physiologie des Geschmacks*, J. A. Brillat-Savarin, Erstpublikation 1825, Deutsche Ausgabe 1979, Insel Taschenbuch
- [3] Hier werden nur Saucen der klassischen französischen Küche betrachtet.
- [4] Die *Sauce espagnole* kommt genauso wenig aus Spanien, wie die *allemande* aus Deutschland.
- [5] Paul Bocuse wies einmal darauf hin, dass viele seiner Gäste nach der Mahlzeit in seinem Restaurant noch zwei Stunden hinter dem Steuerrad sitzen müssen. Er müsse so kochen, dass sie das auch schaffen.
- [6] A. Gayot in www.gayot.com/restaurants/features/nouvellecuisine.html
- [7] Eine Verteilung von feinen Öltröpfchen in Wasser ist eine Öl-in-Wasser-Emulsion und wird international als o/w (*oil-in water*)-Emulsion und entsprechende Wasser-in-Öl-Emulsionen als w/o-Emulsion (*water-in-oil*) bezeichnet. Typische o/w-Emulsion sind Saucen, Joghurt, Milch, Sahne, typische w/o-Emulsionen sind Butter, Margarine und Schokolade.
- [8] *Emulsions, Foams, and Suspensions*, L. L. Schramm, 2005, Wiley-VCh, Weinheim



DAS GEHEIMNIS VON LORIOTS SAUCE POUPOUL COUROUSE



Wegen der überragenden Rolle der französischen Küche in den letzten Jahrhunderten werden viele Gerichte und Arbeitstechniken französische bezeichnet. Dies gilt ganz besonders für die Saucen, denn „die ausgefeilte Vielfalt der Saucen ist der fundamentale Reichtum der französischen Küche“ (Paul Bocuse).

Eine Fachsprache wird gelegentlich dazu missbraucht arrogante Distanz aufzubauen. Lorient hat dies in seinem Film „Ödipussi“ wunderbar wie folgt in Szene gesetzt: Margarete Tietze (Evelyn Hamann) und Paul Winkelmann (Vicco von Bülow) wollen in einem pikfeinen italienischen Nobelrestaurant etwas essen. Die von Winkelmann mit Grandezza aufgegebenene Bestellung einer großen Portion Spaghetti carbonara und einmal Tagliatelle funghi scheitert kläglich, das Restaurant hat gerade französische Woche. Also vertiefen sich die Beiden in die für sie völlig unverständliche Speisekarte.

Frau Tietze: „Können Sie mir sagen, was eine Poitrine de Beau Voyage ist?“

Herr Winkelmann: „Äh – äh – nicht direkt.“
(ruft den Oberkellner)

„Herr Ober! Was ist wohl eine Poitrine de Beau Voyage?“

Ober: (hochnäsiger) „Das ist eine Suprême Chevreull à la Soubri Gratinat.“

Winkelmann: „A-ah ja!“
(zu Frau Tietze): „Das ist eine Suprême Chevreull à la Soubri überbacken.“
(wieder zum Oberkellner) „So war's doch?“

Ober: „Ja!“

Frau Tietze: (zum Oberkellner) „Und eine Mousse Rabelais à la Lézanne?“

Ober: „Das ist eine Queue d'Ecrevissage en Sauce Poupoule Courouse“

Winkelmann: „Pu – was?“

Ober: „Poupoule Courouse!“

Winkelmann: „Was ist denn das?“

Ober: (überlegt verlegen): „Moment!“
(Der Ober entfernt sich und lässt sich von einem Kollegen informieren. Dann kehrt er an den Tisch zurück)
„Das ist eine Timballe Volaille aux Fins Herbes avec Pomerolles Dauphinoissettes du Crème à la Louis Quatorze.“

Frau Tietze: (wild entschlossen) „Na ja, dann nehmen wir das doch einfach.“

Winkelmann: (zum Ober): „Also zweimal, die Visage, die Queue de Visage mit der Sauce..-äh-“

Ober: „Poupoule Courouse!“

Winkelmann: „Bitte.“

Auf Nachfrage gestand Vicco von Bülow alias Lorient im Februar 2008, dass er diesen Dialog in einer Mischung aus existierenden französischen Vokabeln (timballe, suprême) und vom ihm ersonnenen, noch „französischer“ klingenden Worten (soubri, rabelais) abgefasst hat [26]. Kein Wunder also, dass der Oberkellner die Sauce Poupoule Courouse nicht kennen konnte, sie gibt es nicht.

- [9] Die gleiche Kraft wirkt auf ein Wassertröpfchen gleichen Volumens in Öl, allerdings in entgegen gesetzter Richtung (Absinken), da ($\rho_0 - \rho_w$) negativ ist.
- [10] Petra Först, Dissertation TU München, **2001**, http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=964211491&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=964211491.pdf
- [11] M. M. Robins in *Microemulsions and Emulsions in Foods* (eds. M. Elnokaly und D. Cornell), **1991**, ACS Symposium Series 448
- [12] G. Narsihan in *Physical Chemistry of Foods* (eds. H.G. Schwartzberg, R.W. Hartel), **1992**, Marcel Dekker, New York
- [13] Mayonnaise mit einem Ölgehalt > 80% wird als Delikatess-Mayonnaise bezeichnet und hat den gleichen Fettgehalt wie Butter (eine w/o-Emulsion!). Mit ihrer Cremigkeit gaukelt uns die Mayonnaise einen geringeren gefühlten Kaloriengehalt vor.
- [14] M. Laud et al., *Food Hydrocolloids*, **1999**, 13, 113
- [15] J. A. Depree et al., *Trends Food Sci. Technol.* **2001**, 12, 157
- [16] *Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung*, W. Ternes, **1990**, Behr's Verlag, Hamburg
- [17] Viele Studien haben gezeigt, dass Mayonnaise am besten mit frischem Eigelb zubereitet werden sollte. Offensichtlich sind im gefrorenem oder gefriergetrocknetem Eigelb die Proteine bereits teilweise denaturiert, wodurch der Tröpfchendurchmesser und die Stabilität reduziert wird. Siehe auch [15]
- [18] *The Curious Cook*, H. McGee, **1990**, Collier Books, New York
- [19] E. Mitchell et al., *Br.Med.J.* **1989**, 298, 99
- [20] R. Xiong et al., *Food Control*, **2000**, 11, 49
- Zur Herstellung einer „sicheren“ Mayonnaise empfehlen diese Autoren die Zugabe von 20 ml Essig (6%) je Eigelb und mehrstündiges Stehenlassen bei Raumtemperatur vor dem Verzehr. Dann sind bei pH<4 die Salmonellen abgetötet. Diese chemisch sehr radikale Salmonellenbekämpfung führt allerdings zu sehr sauren Mayonnaisen. Alle Standardrezepte verwenden viel weniger Essig.
- [21] *Die neue Küche, Das Kochkunstbuch vom König der Köche*, P. Bocuse, **1977**, Econ Verlag, Düsseldorf
- [22] *Foods – experimental perspectives*, M. McWilliam, 5th edition, **2005**, Pearson-Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA
- [23] *Food Chemistry*, H.-D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, **2004**, Springer, Heidelberg
- [24] In allen Experimenten wurde das Rapsöl „Holstensegen“ der Fa. Aldi-Nord verwendet.
- [25] Es muss betont werden, dass dies ein fantasievolles Modell ist, siehe [15]
- [26] Die Schreibweise von Loriots sehr französisch klingenden Wortschöpfungen ist den Untertiteln für Hörgeschädigte der DVD „Ödipussi“ entnommen.
- [27] *The New Making of a Cook*, M. Kamman, **1997**, William Morrow and Comp., New York
- Madeleine Kamman ist eine erfolgreiche französische Köchin, die in den USA mehrere Kochschulen leitete, beim Fernsehsender PBS eine eigene Kochshow hatte und mehrere erfolgreiche Kochbücher geschrieben hat. Gegenwärtig ist sie Direktorin der „School of American Chefs“ auf dem Weingut Beringer im kalifornischen Nappa Valley. Dieses Kochbuch ist das Standardwerk amerikanischer Köche.
- [28] *Handbuch Saucen*, **2006**, Teubner, München

