

Facharbeit
aus dem Fach
Chemie

Thema: Molekulares Kochen

Verfasser/in: Rudolf Schmidhofer
Leistungskurs: Chemie 3C1
Kursleiter/in: LAss Kurt Gallenberger
Abgabetermin: 25.01.2008

Erzielte Note: in Worten:.....

Erzielte Punkte: in Worten:.....

Abgabe beim Kollegstufenbetreuer am

.....
(Unterschrift des Kurleiters/der Kursleiterin)

Inhaltsverzeichnis:	Seite
1. Kochen – Eine chemische Disziplin?	3
2. Beim Kochen beteiligte Stoffgruppen	4
3. MAILLARD- Reaktion	6
4. Biographie des Ferran Adriá oder die Entstehung der „metaphoric cuisine“	7
5. Molekulares Kochen – Beschreibung von Material	
5.1 Natriumalginat (Algin)	8
5.2 Natriumcitrat (Citras)	9
5.3 Calciumchlorid (Calcic)	9
5.4 Calciumgluconat und -lactat (Glucos)	10
5.5 Agar-Agar (Agar)	10
5.6 Gellan	11
5.7 Carragenan (von Iota und Kappa)	11
5.8 Methylcellulose (Mettil)	12
5.9 Sojalecithin (Lecite)	12
5.10 Zuckerester (Sucro)	13
5.11 Moniglycerid (Glice)	13
5.12 Xanthan Gummi (Xantana)	14
5.13 Crumiel (Blütenhonig 60%, Natriumalginat E 401, Maltodextrin)	14
5.14 Fizzy (Zucker, Natriumcarbonat E 500, Citronensäure E 330, Glucose)	15
5.15 Malto (Maltodextrose/Maltodextrin)	15
6. Molekulares Kochen – Beschreibung von Methoden	
6.1 Sphärisierung (Sferificación)	16
6.2 Gelierung (Gelificación)	18
6.3 Emulgierung (Emulsificación)	18
6.4 Verdickung (Espesantes)	19
6.5 Surprises	20
7. Praktikum im Taller Berlin	20
8. Molekulare Küche - Spielerei oder Revolution der Küchentechnik?	23
9. Quellenverzeichnis	24
10. Danksagung und Selbstständigkeitserklärung	27
11. Anlagen	28

1. Kochen – Eine chemische Disziplin?

"I think it is a sad reflection on our civilization that while we can and do measure the temperature in the atmosphere of Venus we do not know what goes on inside our soufflés."

Ich glaube es ist eine traurige Reflektion unserer Gesellschaft, dass während wir in der Lage sind die Temperatur in der Atmosphäre der Venus zu messen, nicht wissen was im Inneren unserer Soufflés passiert (frei übersetzt).⁶ Dieses Zitat stammt von Nicolas Kurti,

einem britischen Physiker, dessen größtes Hobby das Kochen war. Als Physiker war er unter anderem an dem Atombomben Projekt beteiligt, später jedoch widmete er sich dem Kochen in Bezug auf die naturwissenschaftliche Erforschung. Seinen wissenschaftlichen Nachfolger bzw. Mitstreiter stellt in gewisser Weise Hervé This, ein französischer Physikochemiker dar, der die physikalischen und chemischen Prozesse beim Kochen erforscht. Die beiden fanden in den achtziger Jahren zusammen und benannten diese neue Forschungsdisziplin nach dem Titel der Dissertation von This: „Molekulare und Physikalische Gastronomie“. So luden die beiden 1992 interessierte Köche und Wissenschaftler nach Sizilien ein, um das Thema „Molekulare und Physikalische Gastronomie“ zu behandeln. Dieses Treffen findet seitdem alle 2 Jahre statt. Ferran Adrià, der auch an diesem Treffen teilnahm, ahnte nicht, dass er gut 10 Jahre später damit Kochgeschichte schreiben würde. Auf Ferran Adrià wird in einem späteren Kapitel noch Bezug genommen. Die Arbeit auf diesen Treffen bestand nun darin, altbewährte Rezepte z.B. aus dem „Escoffier“ (eine Art französische „Kochbibel“) mithilfe chemischer und physikalischer Kenntnisse zu erklären, verbessern und anschließend neu zu kreieren. Bei diesen Arbeiten stieß This auf einige „Fehler“, die man jedoch erst erkennt, wenn man sich über die wissenschaftlichen Grundlagen im Klaren ist. So bekommt man das perfekte weich gekochte Ei nicht bei 100°C kochendem Wasser und gut 3 Minuten Garzeit, sondern bei 69°C. Hierbei ist auch völlig egal, wie lange das Ei „kocht“. Das Eiweiß wird denaturiert und fest, das Eigelb bleibt flüssig. So entstanden auf diesen Treffen immer neuere und interessantere Fragen wie z.B.: „Wie stellt man heißes Eis her?“⁶¹ (S.114ff) Um auf diese Frage antworten zu können und die „Nueva nouvelle cuisine“ zu verstehen, werde ich in dieser Facharbeit zuerst eine „klassische“, chemische Reaktion in der Küche erklären, die Maillard Reaktion. Danach werde ich auf die Stoffe und die Vorgänge die in der „metaphoric cuisine“ bzw. molekularen Küche eine Rolle spielen näher eingehen.

2. Beim Kochen beteiligte Stoffgruppen

So sollten zuallererst die Stoffgruppen genannt werden, die für das Kochen relevant sind. Das wären Kohlenstoffhydrate (Abbildung 1), Fette (Lipide) (Abbildung 2) und Eiweiße (Proteine) (Abbildung 3). „Zu den Kohlenstoffhydraten gehört der mengenmäßig größte Teil, aller auf der Welt vorkommenden organischen Substanzen“.^{4(S. 1)} Sie sind Gerüst-, Energie und Betriebsstoffe. Für Lebewesen sind Kohlenhydrate ein wichtiges Lebensmittel, da sie, z.B. dem Menschen, als Hauptenergielieferant dienen. Kohlenhydrate sind, wie der Name bereits verrät, aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut. Allgemein können Kohlenhydrate auch Zucker genannt werden, da sie aus Zuckerbestandteilen, den Sacchariden bestehen. Besonderheit der Saccharide ist, dass sie Ringstrukturen bilden (Abbildung 4). Weitere Besonderheit, wenn sich mehrere Zucker verbinden, ist die eigene Bindungsart, genannt „O-glycosidisch“.⁴ Sie tritt zwischen den Mehrfachzuckern auf und verbindet die einzelnen Zuckermoleküle durch ein Sauerstoff Atom, wie z.B. bei der Maltose und Cellobiose (Abbildung 5). Diese Bindung findet durch eine Kondensation, d.h. unter der Abspaltung eines Wassermoleküls, statt. Für die Ernährung relevante Kohlenhydrate wären hier z.B. Traubenzucker (Monosaccharid), Haushaltszucker (Disaccharid) und Stärke (Polysaccharid) (Hauptlieferant für Kohlenhydrate stellen pflanzliche Produkte dar. So sind z.B. Kartoffeln, Nudeln, Reis und Hülsenfrüchte reich an Kohlenhydraten). Anderweitig sind Kohlenhydrate für die Lebensmittelindustrie deswegen interessant, da sie z.B. als Gelbildner, Verdickungsmittel, Stabilisator oder als Vorstufe von Aromastoffen verwendet werden können.⁷

Nach den Kohlenhydraten folgen die Eiweiße bzw. Proteine. Sie sind aufgebaut aus einzelnen Aminosäuren (Abbildung 3) die ein Makromolekül bilden. Sie sind Bausteine jedes lebenden Organismus wie z.B. Muskeln, Organen und Blut. Hauptbestandteile der Aminosäuren sind Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Selten kommt Schwefel hinzu.⁶ Diese Proteine sind als „Moleküle des Lebens“⁴ anzusehen. Aminosäuren gehen die für sie typische Peptidbindung (Abbildung 6), woraus schlussendlich Eiweiße entstehen, aber dazu später mehr. Man könnte auch sagen diese Eiweiße sind „molekulare Maschinen“. Sie arbeiten als Katalysator, Pumpen und Stofftransporteure im menschlichen Körper.⁷ Bedingt durch ihre funktionellen Gruppen, können Proteine sowohl sauer als auch basisch wirken. Im selben Molekül entstehen unterschiedliche Ionen (Abbildung 7). Man nennt diese Konfiguration auch „Zwitter-Ion“. Der Vorgang wird intramolekularer

Protonenübergang genannt. Dabei spaltet sich das Wasserstoffatom der Carboxylgruppe ab. Das entstandene Carboxylation ist bedingt durch die Mesomerie stabilisiert. Das nun freie Wasserstoffatom bzw. Proton bindet sich an die Aminogruppe des Proteins. Je nachdem in welches Milieu (sauer oder basisch) man dieses Zwitterion nun gibt wird es zum Kation bzw. Anion.⁴ Nun zur Peptidbindung. Unter Kondensation entsteht aus zwei Aminosäuren ein Dipeptid. Diese Bindung kommt zwischen der Carboxylgruppe einer Aminosäure und der Aminogruppe einer anderen Aminosäure zustande (Abbildung 6). Diese Bindung bzw. Reaktion geschieht so oft, bis sich ein Eiweißmolekül aus vielen Aminosäuren bildet. Die Konformation dieser Peptide besitzt nun vier Strukturebenen (Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur), wobei für diese Arbeit nur die Tertiärstruktur relevant ist. Diese Strukturebene stellt die gesamte Raumstruktur, alle Konformationen und molekulinternem Verbindungen des Proteins dar. Sie ist für die biologische Wirkung Ausschlag gebend. Diese Tertiärstruktur ist von pH-Wert und Temperatur des umgebenden Milieus abhängig. Wird aber nun z.B. die Temperatur erhöht, lösen sich schwache Bindungen und die Tertiärstruktur wird verändert bzw. zerstört. Die Raumstruktur ändert sich und das Protein kann seine Aufgabe nicht mehr erfüllen. Man spricht dabei auch vom „Denaturieren“⁴⁴, das beim Kochen wohl die wichtigste Eigenschaft der Eiweiße ist. Dieser Vorgang ist am einfachsten beim Kochen oder Braten eines Hühnereis zu sehen. Wie bereits unter 1. erwähnt, fängt das Hühnereiweiß bei ca. 69°C an zu denaturieren. Für den Menschen kann dies jedoch auch gefährlich werden. Unsere körpereigenen Eiweiße denaturieren bereits ab 42°C, wodurch starkes Fieber sehr schnell gefährlich werden kann. Hauptlieferant für Proteine sind Fleisch (vor allem Geflügel) sowie Hülsenfrüchte und daraus entstehende Produkte wie z.B. Sojamilch.²

Nun zur letzten Stoffgruppe, den Fetten. Die Fette, oder auch Triglyceride, sind sehr wichtig für den Körper, da sie von den genannten Stoffgruppen die meiste Energie pro Gramm bereitstellen. Auch Fette besitzen einen charakteristischen Aufbau. „Fettmoleküle sind Ester aus Propantriol (Glycerin) und jeweils drei gleichen oder verschiedenen Fettsäuren (Carbonsäuren). Sie sind in der Regel unverzweigt und besitzen geradzahlige Kettenlängen von 4-22 C-Atomen“ (Abbildung 8).^{4(S.27ff)} Entscheidend für die Fette sind die Fettsäurereste, die am Glycerinrest gebunden sind. Man unterscheidet zwischen gesättigten und ungesättigten Fettsäuren. Ungesättigt bedeutet, dass innerhalb der Kohlenstoffatomkette des Fettsäurerests Doppelbindungen, meist in cis-Stellung, vorliegen. Weitere Besonderheit ist die Hydrophobie, die Wasserunlöslichkeit der Fette, bedingt durch die Unpolarität der drei Alkylgruppen. Deren Unpolarität übersteigt die Polarität der

Carbonylgruppe, und somit ist das gesamte Molekül unpolar und somit hydrophob.^{4(S.28ff)} Fette werden jedoch nicht nur in der Küche verwendet. Kocht man sie mit Alkalyhydroxiden (NaOH oder KOH) spaltet sich durch diese alkalische Verseifung das Fett in Glycerin und das Alkalisalz der Fettsäure (Abbildung 9). Dieses Salz ist wohl besser bekannt als Seife.^{4(S.30)}

3. MAILLARD-Reaktion

Doch nun zu einer Reaktion, die wohl mit die bekannteste im Bereich des Kochens ist. Die Maillard Reaktion. Benannt nach seinem Entdecker, Louis Maillard (1878-1936), stellt sie wohl eine der ersten Forschungen im Bereich der Lebensmittelchemie dar. Auch wenn der Name unbekannt klingt, hat jeder diese Reaktion schon selbst gesehen. Sie findet z.B. beim Anbraten von Fleisch oder Kartoffeln statt. Man nennt diese Reaktion auch nicht-enzymatische Bräunung oder Melanoidinbildungsreaktion. Die im Fleisch enthaltenen Aminosäuren und reduzierenden Zucker wandeln sich unter Hitzeeinwirkung zu neuen Verbindungen um. Diese neuen Verbindungen sind Melanoidine (Abbildung 10). Sie geben dem bearbeiteten Produkt das typische Aroma und die charakteristische Röstung. Diese Reaktion läuft in zwei Phasen ab. Die erste Phase ist durch das Entstehen einer großen Palette von Di- und Tricarbonylverbindungen geprägt. Es entstehen reaktive Zwischenstufen die in der zweiten Phase reagieren und schließlich die Melanoidine bilden. Zu Beginn der ersten Phase findet eine Bildung von Glycosalmin statt (Abbildung 11). Dies entsteht durch die Verbindung einer Aminosäure mit einem Zucker unter Kondensation. Zwischen der Carbonylverbindung (Zucker) und dem Amin (Aminosäure) findet eine nucleophile Addition statt. Mithilfe eines Zwitterions (positiv geladener Stickstoff, negativ geladener Kohlenstoff) wird ein Halbaminal gebildet. Zuletzt lagert sich ein Proton am Sauerstoff an, der somit positiv geladen wird (Abbildung 12). Diese Verbindung nennt man auch Imin oder Schiff'sche-Base (Abbildung 53), die sich in cyclische Verbindungen weiter umlagert. Die entstandenen Umlagerungsprodukte können nun abermals mit Zucker unter Glycosylamin-Bildung reagieren. Für die Vielfalt der Maillard-Folgeprodukte sind jedoch die Dicarbonylverbindungen verantwortlich. Durch Isomerisierungen, C-C Spaltungen, Dehydratisierungen und Redoxreaktionen können die Ausgangsprodukte stark variieren. Doch nun zur zweiten Phase. Hier wird die Amino-Funktion auf die Dicarbonylverbindungen übertragen. Dies geschieht unter Bildung von Aminoketonen. Zeitgleich entsteht aus der Aminosäure ein um ein C-Atom ärmeres Aldehyd. Dieser Vorgang wird auch Strecker Abbau genannt und ist irreversibel. Aus

dieser Maillard-Reaktion entstehen nun die Melanoidine, die für den Geschmack und das Aussehen gerösteter Speisen typisch sind. Diese Produkte sind meist zyklisch wie z.B. das Pyrazinen (Abbildung 13). Manche Folgeprodukte sind jedoch alles andere als wünschenswert. So z.B. das Acrylamid, das bei zu großer Hitze während der Maillard Reaktion entsteht. Gebildet wird es aus der Aminosäure Aspargin (Abbildung 14), was vor allem in Kartoffeln oder Getreideprodukten vorhanden ist. Vollkommen erforscht ist die Maillard-Reaktion dennoch nicht. Die Varietät der möglichen Reaktionsprodukte ist immens und viele der heterocyclischen Verbindungen sind nach wie vor unbekannt.^{10,12} Heute sind aber neben der Maillard-Reaktion viele weitere Vorgänge in der Küche wissenschaftlich hinterleuchtet und erforscht. Auf die Vorgänge, die man sich in der molekularen Küche zu Nutze gemacht hat, werde ich im Folgenden näher eingehen.

4. Biographie des Ferran Adriá oder die Entstehung der „*metaphoric cuisine*“

Doch zuerst möchte ich den „Erfinder“ der heutigen Molekularküche, Ferran Adriá (Abbildung 15), vorstellen. So verrückt und ausgefallen wie seine Küche, liest sich auch seine Biographie. Er wird am 14. Mai 1962 in L’Hospitalet, Katalonien geboren. Wenig später, 1970 kommt sein Bruder Albert (Abbildung 16) zur Welt, auf den ich später näher eingehen werde. Ferran Adria war zwar nicht schlecht in der Schule, jedoch äußerst desinteressiert. Er verließ daher die Schule 1980. Ihm war mehr danach die Nächte mit Parties und Frauen zu verbringen als mit Schulbüchern. Sein großes Ziel war die Partyhochburg Ibiza. Seine Eltern, nicht gewillt ihren Sohn zu finanzieren, fragten einen befreundeten Wirt in Castelldefels, ob Ferran nicht als Küchenhilfe anfangen könne. Ferran nahm das Angebot ohne große Begeisterung an, denn ihm war nur die Bezahlung wichtig. In diesem Strandrestaurant, genannt „Playafels“, sollte jedoch der Stein ins Rollen kommen. Denn in der Küche des besagten Restaurants fand Ferran ein Buch, das „el Practico“. Dieses Buch war das Pendant zum französischen „Guide culinaire“ von Auguste Escoffier. Beide Bücher stellen sozusagen die Sammelbände für die wichtigsten Gerichte und Rezepte, 5000 Stück an der Zahl, dar. So sind z.B. darin 325 Arten beschrieben, wie man ein Huhn zubereitet. Doch nach etwa 4 Monaten hatte Ferran genügend Geld um nach Ibiza zu fliegen. Als das Geld jedoch allmählich zur Neige ging, fing er im „Cala Lena“ erneut eine Stelle als Küchenhelfer an. Auch hier kam er in Berührung mit „El Practico“. „Als der Koch eines Tages einen Helfer brauchte, war Ferran Adriá bereit, ihm zur Hand zu gehen“.^{1(S.35)} Er musste jedoch täglich ein Kapitel des „El

Practico“ lernen, als eine Art Auflage. 1982 als er zum Militärdienst eingezogen wird, hoffte er durch seine kulinarischen Kenntnisse in der Kantine zu landen und somit vor zu großer Arbeit verschont zu bleiben. Aber es kam sogar noch besser, denn hier lernte er den Koch kennen, der ihn ins „elBulli“ (Abbildung 17), ein damaliges 2 Sterne Restaurant, bringen sollte: Fermí Puig, ein professioneller Koch der vor seinem Militärdienst in besagtem Restaurant kochte. Die Beiden nutzten ihre freie Zeit um im „elBulli“ auszuhelfen. Als ihr Wehrdienst 1983 zu ende ging, entschieden sie sich dazu im „elBulli“ zu arbeiten. Wenig später wurde Ferran Adriá die Stelle als Abteilungskoch angeboten. Sein Bruder ist jedoch nicht minder erfolgreich. Albert Adriá fing 1985 ebenfalls im „elBulli“ an. Heute ist er Leiter des „elBullitallers“, der Werkstatt, in der nach neuen Rezepten „geforscht“ wird.^{1(S.29ff), 14}

Ferran Adriá ist heute Küchenchef des „elBulli“ und trug mehrere Auszeichnungen davon wie z.B. „Das weltbeste Restaurant“¹⁵

Er brachte die Welt der Küche ins Wanken durch die Einführung bekannter, aber in dieser Form neuartiger, Techniken und Produkte zur Verarbeitung von Lebensmitteln. Diese Produkte werden im Folgenden näher beschrieben

5. Molekulares Kochen – Beschreibung von Material

5.1 Natriumalginat (Algin)

Algin, auch Natriumalginat; ist der Sammelbegriff für Alginsäure, -salze und dessen Derivate. Algin bzw. Natriumalginat ist Bestandteil der Zellwände von Braunalgen. Es wird durch die Alkylierung verschiedener Braunalgen gewonnen. Algin ist ein Polysaccharid und zählt sich deshalb zu den Kohlenhydraten. Das Alginat bildet stets fädenartige Moleküle aus (Abbildung 17). Bausteine des Algins sind *beta-D-Mannuronsäure* und *alpha-L-Guluronsäure*. Die Bindungsart ist 1-4-glycosidisch. Die Mannuronsäure und die Guluronsäure treten stets als Block auf. Zwischen diesen Blöcken entwickelt sich eine Art Faltblatt Struktur, die dazu führt, dass das Alginat stets fadenförmig beschaffen ist. Je nachdem aus welcher Art von Braunalgen das Algin extrahiert wurde, variiert das Verhältnis der an der Bindung beteiligten Stoffe. Algin ist empfindlich gegenüber Hitze und wasserlöslich. Algin ist wie Agar auch ein Gelbildner, aber nur unter einer Vorraussetzung. Es bildet nur Gele in Verbindung mit Calcium-Ionen.

Diese Gele sind dann jedoch koch-, back- und gefrierstabil. Es dient daher in erster Linie als Überzugsmittel um Lebensmittel vor dem Austrocknen zu schützen und sie für das Auftauen und Gefrieren zu stabilisieren. Algin bzw. Alginat sind für den Körper ungefährlich.^{2(S.294ff), 17}

5.2 Natriumcitrat (Citras)

Natriumcitrat ist ein Komplexbildner, Säuerungsmittel, Säureregulator und Schmelzsalz. Gewonnen wird Natriumcitrat (Abbildung 19) aus Citronensäure (Abbildung 20), dessen Salz es ist, wodurch wir gleich auf eine wichtige Eigenschaft des Natriumcitrats kommen. Denn dadurch, dass hier das Salz und die zugehörige Säure aufeinander treffen, wirkt Natriumcitrat als Puffer, aber dazu mehr unter **SPÄHRISIERUNG**. Natriumcitrate sind Bestandteil jedes lebenden Organismus. „Sie sind Zwischenprodukte des Energiestoffwechsels (Citronensäurezyklus).“ Erstaunlich ist der Citrat Umsatz des menschlichen Körpers. Pro Tag werden ca. 2 kg Citrate umgesetzt. Aus der Citronensäure lassen sich neben Natriumcitrat noch weitere Derivate herstellen. So z.B. Mono-Natriumcitrat, Di-Natriumcitrat und Tri-Natriumcitrat. Diese Derivate unterscheiden sich in ihrer unterschiedlichen Säurewirkung.²¹

5.3 Calciumchlorid (Calcic)

Calciumchlorid ist ein Calciumsalz aus Calcium und Chlorid Ionen (Abbildung 21). Es ist Festigungsmittel, Geschmacksverstärker und Stabilisator. Chloride sind essentiell für den menschlichen Körper und dessen Gesundheit, vor allem in Bezug auf die Versorgung von Nerven und Muskeln. Calciumchlorid wird als Nebenprodukt gewonnen. Bei der Herstellung von Soda entsteht eine Calciumchlorid Lösung, die nur noch eingedampft werden muss. Das interessante an Calciumchlorid ist nun, dass es in Verbindung mit Eiweißen feste Verbindungen bildet. Dies macht sich die Menschheit schon von jeher zu Nutze z.B. bei der Käseherstellung. Darüber hinaus können Geliervorgänge in Verbindung mit Pektinen und Alginaten ausgelöst werden. Daher wird Calciumchlorid zur Bewahrung der Frische und zum Haltbarmachen bei der Verarbeitung von Obst und Gemüse verwendet. Mit den darin enthaltenen Pektinen geht Calciumchlorid irreversible Verbindungen ein, wodurch die Produkte geschützt, z.B. vor Verfärbung oder dem Verschimmeln, werden. Natürlich ist dies nur möglich, wenn die Waren geschnitten oder anderweitig verarbeitet werden. Calciumchlorid darf ohne nennenswerte Beschränkungen

in Lebensmitteln verwendet werden. Die Hauptprodukte für den Einsatz von Calciumchlorid sind Marmeladen, Milchprodukte, Obst- und Gemüsekonserven.²²

5.4 Calciumgluconat, -lactat (Gluco)

Calciumgluconat ist Komplexbildner, Säureregulator und Stabilisator. Gluconat wird mit Hilfe von Reaktionen aus Gluconsäure (Abbildung 22) gewonnen. Calciumgluconat bildet sehr leicht Komplexe mit Calcium- und Eisenionen aus. Es verstärkt daher die sehr gut die Wirkung von Geliert- und Verdickungsmitteln. Calciumgluconat wird in erster Linie dazu verwendet, Lebensmittel mit Calcium anzureichern. Es ist folglich für den Menschen unbedenklich.

Calciumlactat (Abbildung 23) dagegen ist das Calciumsalz der Milchsäure. Es ist Feuchthaltemittel und Säureregulator. Calciumlactat findet sich in jedem Organismus als Zwischenprodukt des Stoffwechsels wieder. In der Lebensmitteltechnik wird es in erster Linie zur Regulation des Säuregrades verwendet. Ähnlich wie das Calciumchlorid bildet Calciumlactat mit Pektinen eine feste Verbindung die dazu dient Obst und Gemüse haltbarer, frischer und fester zu machen. Interessant ist darüber hinaus, dass Calciumlactat zur Anreicherung diätetischer Lebensmittel mit Mineralstoffen dient. Calciumlactat und –gluconat, in der Molekularküche schlicht „Gluco“ genannt, ist das letzte Mittel, welches man für die Sferificaión benötigt.^{25, 26}

5.5 Agar-Agar (Agar)

Agar, auch Agar-Agar genannt, wird im Gegensatz zu Algin aus Rotalgen gewonnen. Dies geschieht durch eine Heißwasserextraktion. Agar ist heterogen und ein nicht exakt definiertes Material.

Die Bausteine für Agar sind: beta-D-Galactopyranose (Abbildung 24) und 3,6-Anhydro-alpha-L-Galactopyranose. Die Verknüpfungsart wechselt ständig zwischen einer 1-4 und einer 1-3 Bindung. Es ist also ein Galactose-Polymer und zählt zu den Kohlenhydraten. Die Besonderheit an Agar (Abbildung 25) ist, dass es Gelees bildet. Agar ist geschmacksneutral und unverdaulich. Der Hauptgrund warum nun Agar Verwendung in der Lebensmittelchemie findet ist ganz einfach. Es ist ein sehr starker Gel/Gelantine/Gallertbinder. Bereits ein geringe Konzentrationen reichen aus Gelees zu bilden. So dürfen z.B. in Konfitüren, Marmeladen und Gelees nur 10g auf ein Kilogramm verwendet werden. Dies zeigt recht deutlich, wie stark die Gelierwirkung des Agars ist. Ein anderer Verwendungszweck wäre die Klärung von Getränken wie z.B. Obstwein.^{28, 29}

5.6 Gellan

Gellan ist, wie man sich aus dem Namen bereits sehr leicht ableiten kann, ein Gelier- und Verdickungsmittel. Hergestellt wird Gellan mit Hilfe von Bakterienkulturen die anschließend weiter ver- und bearbeitet werden. Gellan ist ein Polysaccharid, oder auch Biopolymer, das bereits bei geringer Zugabe von Wasser feste, klare Gele bildet. Aufgebaut ist Gellan aus den Bausteinen D-Glucose, D-Glukuronsäure und D.Rhamnose. Interessant ist hier, dass diese Gele stabil bleiben, unabhängig von Änderung des pH-Werts oder der Temperatur. In der Lebensmittelindustrie wird Gellan für Marmeladen, Füllungen und Überzüge verwendet.

In der molekularen Küche wird dieses Gellan, wie wohl zu erwarten war, zur Herstellung von Gelees verwendet. Besonders ist jedoch zu erwähnen, dass die Gelierwirkung durch Beigabe von Xanthan verstärkt wird, was eine Rolle bei vielen Speisen der Molekularküche spielt.^{23, 31}

5.7 Carrageenan (von Iota und Kappa)

Carrageenan ist, ähnlich wie Gellan, auch ein Gelier- und Verdickungsmittel. Herstellung und Einsatzgebiet unterscheiden sich jedoch. Während Gellan durch einen langwierigen Prozess aus Mikroorganismen hergestellt werden muss, braucht es für Carrageenan nur heißes Wasser und Rotalgen. Carrageenan ist auch der Sammelbegriff für Polysaccharide, die in Rotalgen vorkommen. Bedingt durch ihre Konformation, bilden Carrageenane Doppelhelices aus (Abbildung 26). Es gibt nämlich mehrere Arten von Carrageenanen, die sich wiederum in ihren einzelnen Bausteinen unterscheiden (Abbildung 27 & 28). Für Lebensmittel jedoch zugelassen sind nur wenige, bestimmte Carrageenanen mit großen Molekülen. Carrageen eignet sich gut zu Herstellung von Gelen und Verdickung von Flüssigkeiten. Verwendet in der Lebensmittelindustrie wird Carrageenan jedoch für Trockenmilch, wärme behandelte Sahne Puddingpulver, Eiscreme und Ketchup. In der molekularen Küche werden zwei verschiedene Carrageenanen verwendet. Einmal Carrageenan von Iota und einmal von Kappa. Iota und Kappa sind besondere Algenarten.³³

5.8 Methylcellulose (Mettil)

Methylcellulose (Abbildung 29), das wie Carrageenan und Gellan für die Gelierung benötigt wird, ist wie diese Produkte bereits auch ein Gelier-, Verdickungs- und Überzugsmittel. Gewonnen wird Methylcellulose aus dem Baustein der Pflanzen, der Cellulose. Methylcellulose ist ein Derivat der Cellulose, da es denselben Aufbau (Kettenmolekül aus mehreren Glucosemolekülen) hat und gehört zu den Celluloseethern, wobei Cellulose wasserun- und Methylcellulose jedoch wasserlöslich ist. Wird diese dann im Wasser gelöst bildet sich eine zähflüssige Masse und bildet beim Erhitzen(!) feste Gele aus. Im Gegensatz dazu schmilzt herkömmliche, tierische Gelatine schon bei geringen Temperaturen. Verwendet wird Methylcellulose in der Lebensmittelindustrie vor allem für Mayonnaise, Speiseeis, Fischerzeugnisse und Backwaren. Darüber hinaus wird es noch als Trägerstoff, sowie in der pharmazeutischen- und Tabakindustrie als Zusatzmittel, verwendet. Mettil bzw. Methylcellulose ist das letzte Produkt der Texturas Serie, welche für die Gelierung benötigt werden.^{34, 35}

5.9 Sojalecithin (Lecite)

Lecithine (Abbildung 30) sind Emulgatoren, Antioxidationsmittel, Stabilisatoren sowie Mehlbehandlungsmittel. Sie sind natürliche, fettähnliche Stoffe und zählen deshalb zu den Phospholipiden. Phospholipide sind typischerweise bipolar und daher essentieller Bestandteil der Zellwände. Sie tragen auch weitere wichtige Aufgaben des Organismus. So zum Beispiel der Transport von Cholesterin und Fetten im Blut oder das Beitragen zur Fettverdauung als Bestandteil der Gallenflüssigkeit. Lebensmittel wie Ei, Karotten, Pflanzenöle und vor allem Hülsenfrüchte enthalten sehr viel Lecithin. Man kann Lecithin auf 2 Arten gewinnen. Auf dem natürlichen Wege aus Sojabohnen z.B. oder auf chemischem Wege durch Reaktionen, wobei man gezielt bestimmte Eigenschaften des Lecithins herausheben und verstärken kann. Bei der Herstellung aus Sojabohnen wird zuerst Sojaöl hergestellt. Dieses Öl wird auf 70-90°C erhitzt und es wird eine Menge von ca. 1-4% Wasser hinzugefügt und vermischt. Das Lecithin quillt nun auf und wird als gallertartige Masse ausgefällt. Anschließend wird das Öl noch abgetrennt und die Lecithin-Masse schließlich mit einem Verdampfer dehydriert. Durch die Zugehörigkeit des Lecithins zur Gruppe der Phospholipide, erklärt sich seine Verwendung bzw. seine chemischen Eigenschaften. Durch zwei unterschiedliche Molekülen (Abbildung 31), ein polares und ein apolares, gehört es zu der Gruppe der Tenside zu der bekanntlich auch

die Emulgatoren zählen. Haupteinsatzgebiet des Lecithins ist die Verwendung als Zusatzstoff in Margarinen, Schokoladenprodukten, Instantpulver für Tee und Kaffee sowie für Babynahrung, Kosmetika und Medikamenten. Für die molekulare Küche wird Sojalecithin (Lecite) für die Emulsificación verwendet.^{2(S.745), 38, 39}

5.10 Saccharoseester (Sucro)

Zuckerester, oder auch Saccharoseester (Abbildung 32), sind Emulgatoren und Mehlbehandlungsmittel. Sie entstehen durch Reaktion von Haushaltszucker mit Speisefettsäuren, wie z.B. Stearinsäure (Abbildung 33). Die Herstellung findet jedoch auf anderem Wege statt. Man lässt Saccharose, Fettsäurechloride und Fettsäuremethylester miteinander reagieren. Diese Reaktion bzw. diese Reaktionen ist/sind mehrstufig und aus dem entstandenem Stoffgemisch kann schlussendlich der gewünschte Zuckerester, der zuerst jedoch gereinigt werden muss, abgeführt werden. Zur Herstellung der Fettsäuren können tierische Fette verwendet werden, normalerweise werden aber pflanzliche Öle wie z.B. Sojaöl bevorzugt. Zuckerester haben viele verschiedene Einsatzgebiete. So finden sie sich in abgepacktem Flüssigkaffee, Süßwaren, Speiseeis sowie in alkoholischen, ausgenommen Bier und Wein, als auch nichtalkoholischen Getränken. Sucro wird in der molekularen Küche für den Vorgang der Emulsificación mit alkoholischen Gemischen benötigt.^{2(S. 280), 41}

5.11 Monoglycerid (Glice)

Im Produkt Glice sind nicht nur herkömmliche Monoglyceride (Abbildung 34) enthalten, sondern auch Essigsäureester dieser Monoglyceride von bestimmten Speisefettsäuren. Für die Herstellung sind zwei Schritte von Nöten. Zuerst die Herstellung Essigsäureester der Glyceride und dann die der Speisefettsäuren. Für die Essigsäureester in dem Fette oder aus ihnen hergestellte Mono- und Diglyceride verestert werden. Die Herstellung der Fettsäuren geschieht wie beim Zuckerester aus tierischen oder pflanzlichen Ölen. Führt man nun diese beiden Stoffe zusammen, erhält das Molekül durch die Bindung Emulgatoreigenschaften. Viel wichtiger jedoch ist, dass sie die Kristallstruktur und Verformbarkeit der Fette beeinflussen, und so die Wirkung anderer Emulgatoren signifikant verstärken. Weiter besitzen sie die Fähigkeit, harte, belastbare Filme zu erzeugen. So wird ihr Einsatzgebiet, Backteilmchen, Desserts und Fleischerzeugnisse ersichtlich. Interessant für die molekulare Küche sind Monoglyceride daher, dass sie die Fähigkeit besitzen, Luft in Lebensmitteln zu halten wie es bei der Emulgierung der Fall ist.^{2(S.455), 45}

5.12 Xanthan (Xantana)

Xanthan, oder auch Xanthan Gummi (Abbildung 36), stellt das einzige Produkt in der Reihe der Texturas dar, welches für die sog. Espesantes bzw. Suspensionen benötigt wird. Xanthan ist ein Gelier- und Verdickungsmittel sowie ein Füllstoff. Es ist ein Polysaccharid bestehend aus verschiedenen, charakteristisch verbundenen Einfachzuckern. Hergestellt wird Xanthan industriell mithilfe des Bakteriums „Xanthomonas campestris“. Xanthan ist in so gut wie in allen Lösungen löslich und besitzt hohe Quell- und Wasserbindungsfähigkeit, wodurch es Flüssigkeiten leicht gelieren kann. Die Gelierfähigkeit bleibt auch bei Temperaturschwankungen erhalten. Xanthan kann unter bestimmten Voraussetzungen, wie z.B. dem Hinzugeben von Johannisbrotkernmehl ein Suspensor bzw. gummiartig werden. Das bedeutet, dass es Teilchen innerhalb einer Flüssigkeit in der „Schwebe“ halten kann. Eine andere Einsatzmöglichkeit des Xanthans ist die als Verdickungsmittels, was auch das Haupteinsatzgebiet in der Lebensmittelindustrie zeigt: Suppen, Soßen, Marmeladen, Mayonnaise, Ketchup, Gelees, Speiseeis und Fleischkonserven. Für die molekulare Küche ist jedoch die Möglichkeit des Suspendors der interessanteste Gesichtspunkt.⁴⁷

Stoffe der Surprises

Im Gegensatz zu den anderen Stoffen, dienen die der Surprises nur dazu Speisen zu würzen oder ihnen einen Brauseeffekt hinzuzufügen. Ausserdem unterscheiden sie sich von den anderen Stoffen dadurch, dass sie Stoffgemische sind und nur von Solé Graells, einer spanischen Firma, hergestellt werden.⁵

5.13 Crumiel

Crumiel ist ein Gemisch aus Blütenhonig, Natriumalginat und Maltodextrin. Vorzugsweise wird Crumiel dort eingesetzt, wo man sich den Geschmack von Honig wünscht. Es wird aus den bereits aufgeführten Stoffen hergestellt und ist als Granulat erhältlich.⁵

5.14 Fizzy

Fizzy ist ein Gemisch aus Natriumcarbonat, Citronensäure und Glucose. Das Gemisch hat zwei Effekte. Einerseits bringt es die Wirkung von Brause in das gewünschte Gericht und verleiht zusätzlich eine leichte Säure. Auch Fizzy wird in Granulat Form ausgeliefert.⁵

5.15 Malto

Malto bildet hier jedoch eine kleine Ausnahme. Es ist kein Stoffgemisch sondern ein Produkt auf Malzdextrosebasis wodurch es die Fähigkeit erlangt, Fette zu absorbieren und in Pulverform zu bringen. Primär wird es jedoch als Geschmacksträger verwendet. In der Lebensmittelchemie findet es Verwendung für Milchprodukte, Bonbons, Suppen usw.⁵

6. Molekulares Kochen - Beschreibung der Methoden

Nach der Beschreibung der Materialien folgt nun eine Beschreibung der Methoden, die sich die molekulare Küche zu Nutzen macht. Dies wären die Sphärisierung (Sferificación), wobei dies einen Geliervorgang darstellt, die Gelierung (Gelificación), wobei man hier von der Erstellung von Gelen und Gelees spricht, die Emulgierung (Emulsificación), hier wird versucht durch bestimmte Emulgatoren Öl und Wasser in Verbindung zu bringen oder möglichst viel Luft „einzufangen“ um so die sog. Espumas oder Wolken herzustellen. Unter Espesantes versteht man die Verdickung von Flüssigkeiten wie z.B. Soßen, Säfte und ähnlichem. Interessant ist jedoch, dass eine weitaus geringere Menge erforderlich ist als bei den traditionellen Verdickern (Stärke z.B.), um dasselbe Ergebnis zu erreichen und darüber hinaus findet keine Beeinflussung des Geschmacks statt. Die letzte Methode, die sog. Surprises sind lediglich eine Veränderung der geschmacklichen Erfahrung des Konsumenten. So besteht ein Produkt dieser Reihe aus salzigem Krokant. Diese Methoden werden im Folgenden näher beschrieben.⁵

6.1 Sphärisierung (Sferificación)

Die Sferificación, oder Sphärisierung, ist die „kontrollierte Gelierung einer Flüssigkeit, die durch das Eintauchen in ein flüssiges Bad eine sphärische (kugelartige) Form annimmt.“

^{5(S.5)} Dabei muss man beachten, dass es 2 Arten der Sphärisierung gibt. Dies hat mit dem Säuregrad und dem Calciumgehalt der beteiligten Stoffe zu tun. Entsprechen sie nicht einem bestimmten Wert wie z.B. zu wenig oder zu viel Calciumionen, kommt es nicht zur Reaktionen. Für die sog. „Basis-Sphärisierung“^{5(S.9)} wird eine Flüssigkeit mit Alginat (z.B Säfte, Suds usw...) versetzt und in eine Calciumchlorid Wasser Lösung getaucht. Bei der umgekehrten Sphärisierung geschieht dies genau umgekehrt jedoch mit einem anderen Stoff. Eine Flüssigkeit (auch hier wieder Säfte o.ä...) wird mit „Gluco“ (Calciumgluconat und -lactat) versetzt und in ein Alginatbad gegeben. Bei beiden Reaktionen bildet sich eine Geleehülle um die zugegeben Flüssigkeit und bringt sie in die Form einer Kugel oder besser, in die eines Tropfens. Man gibt stets die Flüssigkeit, die man später als Sphäre haben möchte, in das Alginat- oder Calciumchloridbad. Nun zur chemischen Darstellung dieses Geliervorgangs. Den Geliervorgang kann man vereinfacht als Einlagerung von Teilchen sehen. Als Beispiel wird die Basis Sphärisierung verwendet. Das Alginat ist wie bereits unter 2.2.1. beschrieben ein Polysaccharid und fadenförmig (Abbildung 37). Kommt es nun mit Calciumionen in Berührung, binden sich die Calciumionen zwischen die Alginatfäden (Abbildung 38). Dadurch verfestigen sich diese Fäden und es kommt dadurch schlussendlich zur Gelierung bzw. Sphärisierung (Abbildung 39). Je nachdem wie viele dieser Zuckerblöcke sich in den Fäden befinden, umso mehr Calciumionen können sich anlagern, wodurch die Festigkeit der Geleehülle bestimmt wird. Man sieht also, gibt man Alginat zu Calciumchlorid hinzu, bildet sich eine feste Geleeschicht. Da durch die Bindung an das Alginat, immer mehr Calciumionen aus der Lösung genommen werden, steigt der Anteil der Chloridionen bis schlussendlich nur noch diese vorhanden sind.⁴⁸ Die Sphärisierung kann durch zu calciumhaltiges Wasser behindert werden, da die Alginatfäden bereits durch die im Überschuss enthaltenen Calciumionen „gesättigt“ sind und um das gewünschte Medium keine Geleehaut mehr aufbauen. Enthält eine Flüssigkeit aber nun einen zu niedrigen pH-Wert (kleiner als 4, dadurch werden die Alginatfäden zersetzt), kann man eine Sphärisierung doch ermöglichen indem man zu Natriumcitrat

greift. Es reguliert den Säuregehalt und hebt ihn über den Wert 4 und bindet auch überschüssige Calciumionen, so dass eine geregelte Gelierung möglich ist. Das Natriumcitrat wirkt folglich als Puffer. Ein Puffer sorgt dafür, dass der pH-Wert einer Lösung trotz Zugabe von Säure oder Base konstant bleibt. Dies ist jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad möglich. Ein Puffer ist immer eine Säure und das zugehörige Salz bzw. die korrespondierende Base.^{3(S. 142)} Hier beim Natriumcitrat wäre es das Citrat und das Natriumsalz. Diese Mischung wirkt als Puffer, da durch die drei Carboxylgruppen (Abbildung 19) des Citrats drei Protonen einer Säure pro Molekül aufgenommen werden können. Die inverse Sphärisierung verwendet man nun für Produkte die von Natur aus bereits einen recht hohen Calciumgehalt besitzen. Würde man hier Alginat zugeben würde sich ein geleeartiger Brei bilden, aber auf keinen Fall ansehnliche Tropfen oder Sphären. Deshalb ist das Bad in welches man die Flüssigkeit nun taucht ein Alginatbad. Auch hier kann es bei Lebensmitteln vorkommen, dass sie durch Säure-, Fett- oder Alkoholgehalt die Gelierschicht zerstören würden. Als Regulator verwendet man hier nun Gluco (Calciumgluconat und -lactat) um stabile Sphären herstellen zu können. So kann man nahezu jedes Lebensmittel, das man verflüssigen kann, in eine runde, Gelee umschlossene Kugelform bringen. Alginat liefert stets das Gerüst, bestehend aus den Alginat-Zuckerfäden und je nachdem mit welcher Flüssigkeit gearbeitet wird, liefert Gluco (Calciumgluconat und -lactat) oder Calcic (Calciumchlorid) die Calciumionen, die für die Bildung der Geleehülle unerlässlich sind. Die Sphärisierung wurde 2003 im elBulli in Roses, Spanien, erfunden und war mit eine der Sensationen und Entdeckungen die Ferran Adriá in das Interesse der Medien rückte und sein Restaurant später nach dem englischen Gastronomie Magazine „*Restaurant Magazine*“ zum „Besten Restaurant der Welt“ gemacht haben.^{2(S. 295), 5, 48}

6.2 Gelierung (Gelificación)

Bei der Gelierung (Gelificación) werden mithilfe verschiedener Arten von Carrageenan (von Iota und Kappa), Agar-Agar, Methylcellulose und Gellan, Gelees mit bestimmten Eigenschaften hergestellt. Anzumerken ist, das bis 1997 die Blattgelatine die einzige Möglichkeit darstellte um Gelees herzustellen. Aber 1997 wurde dann Agar-Agar entdeckt, das ebenfalls Gelees bilden kann.^{5(S.13)} Ferran Adriá trieb diese Forschung voran und stellt nun durch die beschriebenen Stoffe besondere Gelees her. Besonders an den Produkten ist jedoch, dass sie völlig neue Möglichkeiten in der Herstellung von Gelees ermöglichen. So sind heiße, feste, spröde oder auch ganz „normale“ Gelees möglich. Für die Gelbildung von

Carrageen z.B. muss man sich zuerst die Molekülsequenz ansehen (Abbildung 26). Durch diese Molekülstruktur wird die Ausbildung einer Doppelhelix begünstigt (Abbildung 27). Dies ist jedoch nur beim t-Carrageen der Fall. Die Gelbildung rührt daher, dass partiell Doppelhelices zwischen den betroffenen Molekülen ausgebildet werden, die zu einer Gelbildung führen. Die Festigkeit des Gels wird durch die Regelmäßigkeit der Sequenzen bestimmt. Die Regelmäßigkeit der Sequenzen bestimmt daher auch die Häufigkeit der Bildung der interamolekularen Doppelhelices. So führt jeder Austausch eines 3,6-Anhydrogalactoserestes durch einen anderen Rest, wie z.B. Galactose-6-sulfat, zur Verschlechterung der Gelfestigkeit. Dies ist dadurch zu erklären, dass durch andere Reste ein „Knick“ in der Doppelhelix entsteht und somit die intermolekularen Kräfte geschwächt werden.^{2(S.297)} Man sieht also, je reiner der Gelbildner ist, umso fester und stabiler ist das entstehende Gel. Man nutzt nun diesen Vorgang aus um aus eigentlich Flüssigen Stoffen wie z.B. Tee oder Saft, „feste Nudeln“ herzustellen.^{2(S.297), 5(S.13)}

6.3 Emulgierung (Emulsificación)

Die Emulsificación, oder auch Emulgierung, stellt das Verbinden eines Fettes oder lipophilen Stoffes mit Wasser oder einem hydrophilen Stoff. Dies könnte normalerweise nicht geschehen, denn lipophile Stoffe oder Fette sind stets unpolar und hydrophile Stoffe oder Wasser sind stets bipolar. Zwischen beiden Lösungen bildet sich eine Grenzfläche (Abbildung 40). Der Bindungstyp der hydrophilen Stoffe wären natürlich die Wasserstoffbrücken und der Bindungstyp der lipophilen Stoffe wären die Van-der-Waals-Kräfte. Aber zurück zur Grenzfläche. Zwischen den beiden Stoffen können die jeweiligen Bindungskräfte nicht wirken, man kann hier auch von einer Grenzflächenspannung sprechen. Diese Grenzfläche bzw. deren Spannung ist dafür verantwortlich, dass sich keine Emulsion aus Wasser und Fett bilden kann. Doch nun gibt es sog. Emulgatoren, die Ferran Adriá und sein Team für zweierlei Zwecke verwenden. Zuerst einmal für die Herstellung von stabilen Öl/Wasser Emulsionen, zum zweiten zur Bindung von möglichst viel Luft in Lebensmittel um daraus Schäume herstellen zu können. Um also nun Öl in Wasser oder Wasser in Öl Emulsionen herzustellen, braucht man einen geeigneten Emulgator. In der Chemie werden Emulgatoren auch Tenside genannt. Tenside oder Emulgatoren sind Stoffe die amphiphil sind. Das heißt sie besitzen sowohl einen wasserliebenden und fettabweisenden, hydrophilen Molekülrest, als auch einen wasserfeindlichen und fettliebenden, lipophilen Molekülrest (Abbildung 41). Sie wirken also durch ihren molekularen Aufbau auf das Wasser/Öl Gemisch ein. Tenside sind zudem

Grenzflächenaktiv. Sie setzen die Spannung der entstandenen Grenzfläche herab und ermöglichen so die Emulsion aus Öl und Wasser. Das Tensid bindet sich nun mit seiner lipophilen Molekülseite an das Fett. Auf der anderen Seite ragt nun der hydrophile Rest und ermöglicht so, dass die Fetttropfchen sich mit dem Wasser verbinden und eine Emulsion eingehen. (Abbildung 42). Die Lösung wird aufrechterhalten indem man öfters immer wieder umrührt. Die zweite Besonderheit der Tenside ist die Fähigkeit Schäume zu bilden. Schäume entstehen dadurch, dass Gasbläschen durch ein Tensid-Wasser Gemisch getrennt werden. Dies ist wieder auf die molekularen Eigenschaften zurückzuführen. Gibt man zu Wasser oder einem hydrophilen Stoff ein Tensid dazu, geht die Oberflächenspannung der Lösung verloren, da sich das Tensid nun zwischen der Grenzfläche von Wasser und Luft festsetzt. (Abbildung 43). Wird das Tensid nun im Wasser gelöst, z.B. durch umrühren oder aufschlagen mit einem Mixergerät, kommt es zur Schaumbildung. Wie bereits bei der Bildung von Emulsionen, ist hier die Amphiphilität der Tenside die Ursache. Gehen also die Tenside in Lösung bilden sich Blasen bzw. Ringartige Gebilde, bei denen die hydrophoben Molekülreste in der Mitte und außerhalb dieses Ringes liegen. Es bildet sich folglich eine Wand aus dem Tensid-Wasser Gemisch um Gasbläschen (hier Luft) (Abbildung 44). Die alltäglichsste Schaumbildung kann man beim Waschen mit Seife beobachten. Auch hier schließen Blasenartige Gebilde aus einem Tensid-Wasser Gemisch Luft ein, wodurch Seifenblasen bzw. Schaum entstehen. Ferran Adriá machte sich diese Besonderheit in seiner Küche zu Nutze. Durch den Emulgator Sojalecithin entstand die Reihe der Emulsificación Produkte. Zuerst stellte man nur Schäume verschiedenster Flüssigkeiten her, um ein ganz neues Geschmackserlebnis erzeugen zu können (Gefrorene Luft von Parmesan). Doch man ging weiter und nun ist es sogar möglich Olivenölgummibärchen oder Olivenöl Spiralen herzustellen. Ferran Adriá gelang der erste große Durchbruch durch Herstellung der Aires mithilfe von Lecite (Sojalecithin).^{54, 55}

6.4 Verdicken (Espesantes)

Das Andicken wird in der molekularen Küche verwendet, um Stoffe in einer bestimmten, gelartigen Flüssigkeit, in der „Schwebe zu halten“. Man spricht dabei auch von einem Suspensor. Dies geschieht mit dem Verdickungsmittel Xanthan. Die besondere Eigenschaft des Xanthans und anderer Verdickungsmittel liegt darin, ungebundenes Wasser zu entziehen, was zu einer Erhöhung der Viskosität führt. Besonders ist, dass bei jedem Verdickungsmittel ab einer bestimmten Konzentration Netzwerkeffekte auftreten. Dies

führt zu einem proportionalen Anstieg der Viskosität. Man könnte sagen, dass sich die Moleküle miteinander „verschlaufen“. Verdickungsmittel sind in der Lebensmittelindustrie stets lineare oder verzweigte Makromoleküle die, bedingt durch ihre molekularen Wechselwirkungen (Wasserstoffbrücken, hydrophobe Wechselwirkungen und Ionenbindungen), miteinander interagieren können. Die Fähigkeit eines Stoffes etwas zu verdicken, könnte man auch als die Fähigkeit des „Quellen“ sehen. In der molekularen Küche wird, wie bereits erwähnt, Xanthan verwendet, das als Verdickungsmittel oder Suspensor dient.^{56, 57}

6.5 Surprises

Bei den Vorgängen mit den Produkten der Surprises passieren keine chemischen Reaktionen. Man kann mit ihnen jedoch würzen und einen Brauseeffekt hinzufügen. So kann man z.B. Fizzy in flüssige Schokolade tauchen und hat somit ein Praliné mit Brausefüllung

7. Praktikum im Taller Berlin

Ich absolvierte in den Herbstferien ein eintägiges Praktikum im „Taller“ (span. Werkstatt) Berlin. Dies kann man als Ableger des „elbulliTallers Barcelona“ sehen. Auch hier wird den ganzen Tag mit den Produkten der Texturas Serie an neuen Gerichten und Menüs „geforscht“. Ein gewisser Cristiano Rienzer eröffnete dieses „Taller“ und versucht nun mit seinem Team die „metaphoric cuisine“, so sprechen die Köche selbst von der molekularen Küche, in Deutschland zu vermarkten und bekannt zu machen. Der „Meisterschüler“ seines Teams, Martin Wolf (Abbildung 45), betreute mich an diesem Tag und zeigte mir wie man solche Gerichte zubereitet. Was mich beeindruckte war, dass ein jeder Einzelner des Berliner Taller Teams bereits in Spanien bei Ferran Adriá gearbeitet hatte. So konnte Herr Wolf mir sehr detaillierte Informationen über die momentane Sachlage geben.

Aber nun zu den zubereiteten Gerichten. Herr Wolf bereitete mit mir zusammen je ein Gericht pro Methode zu. So stellten wir als erstes „Sphären von Joghurt“ her. Was eine Sphäre ist, wurde bereits unter dem Punkt 6.1 Sphärisierung beschrieben. Für dieses „Gericht“ benötigt man eine beliebige Menge Joghurt, Wasser sowie Alginat. Das Verhältnis Alginat zu Wasser sollte ca. 5g auf einen Liter sein. Weiter sollte beachtet

werden, dass der Calciumgehalt des Wassers relativ niedrig sein sollte. Hier eignet sich z.B. Vittel sehr gut (ca. 90mg Ca²⁺/l). Ist der Calciumgehalt des Wasser zu hoch, bildet sich schon beim mischen von Alginat mit Wasser ein Gelee, und die anschließende Gelierung schlägt fehl, da bereits zu viele Calciumionen gebunden sind. Verwendet man aber ein geeignetes Wasser wird das Gemisch nur leicht dickflüssig und die Sphärisierung kann problemlos stattfinden. Zur Herstellung des Alginatbads (Abbildung 46) sollte man zuerst 1/3 des Wassers mit dem gesamten Alginat vermischen und anschließend mit den restlichen 2/3 Wasser vermengen. Durch dieses Vorgehen lässt sich das Alginat leichter im Wasser auflösen. Der Joghurt sollte flüssig sein, was man durch einfaches Mixen mit einem Pürrierstab erreicht. Diese beiden Vorarbeiten hat Herr Wolf für mich erledigt und ich durfte mich anschließend selbst versuchen. Ich nahm einen Löffel Joghurt, tauchte ihn in das Alginatbad, drehte ihn, und zog ihn vorsichtig wieder heraus (Abbildung 47). Der Joghurt bleibt in einer Kugel und reagiert sofort mit dem Alginat, da er von Natur aus einen hohen Calciumgehalt besitzt (siehe 6.1 Sphärisierung). Man muss lediglich noch die Joghurtkugel „schließen“, da sie an der Stelle, an der man den Löffel aus dem Alginatbad nimmt, nicht von Alginat bedeckt ist. Dieses „Schließen“ erfolgt durch einfaches Darüberstreichen von Alginat mit Hilfe des Löffels. Man darf die Kugel jedoch nicht zu lange im Alginatbad lassen, da sie sonst komplett „durchgeliert“ und somit der Effekt den man bezwecken wollte, außen Geleehülle innen flüssig, verloren geht. Die Sphäre wird mit einem Sieblöffel aus dem Alginatbad genommen (Abbildung 48) und noch mal kurz mit Wasser abgewaschen, damit keine Alginat Rest übrig bleiben (Abbildung 49). Die Sphärisierung ist wohl die am einfachsten nachzumachende Technik der molekularen Küche die am leichtesten verständlich macht um was es hier geht. Man will neue Geschmackserlebnisse erzeugen mithilfe der Küchenchemie.

Anschließend zeigte mir Herr Wolf, welche Gerichte man mit Sojalecithin zubereiten kann. Er entschied sich für die „Gefrorene Luft von Parmesan“. Dazu braucht man 500g Parmesan, 450ml Wasser und 3g Sojalecithin. Das Sojalecithin ist aus der Reihe der Emulsificaci3n und ist wie unter 5.9 beschrieben ein Emulgator. Zuerst muss man den Parmesan mit dem Wasser vermengen und auf 80°C erhitzen. Stetiges Umrühren sollte nicht vergessen werden, da es sonst passieren kann, dass der Parmesan nicht nur schmilzt sonder vielleicht sogar anbrennt. Die Masse lässt man 30 Minuten ziehen und passiert sie anschließend. Nun kommt das Sojalecithin ins Spiel. Man gibt pro 250g Parmesanmasse 1,3g Sojalecithin (Lecithin) hinzu und bringt nun mit Hilfe eines Rührstabs Luft in die Masse. Man sollte im oberen Teil der Flüssigkeit arbeiten, damit möglichst viel Schaum

entsteht (Abbildung 50). Das Sojalecithin ist wie unter 6.3 für die Schaumbildung verantwortlich. Den entstandenen Schaum schöpft man nun ab, gibt ihn in ein Gefäß und anschließend ins Tiefkühlfach (Abbildung 51). Damit hebt man noch einmal das geschmackliche Erlebnis und die Stabilität des Schaums.

Danach war ein Passionsfrucht Gelee an der Reihe. Man benötigt dafür 200g Fruchtmarmelade der Passionsfrucht, jeweils 50g Wasser und Zucker sowie 2,6g Carrageen (Iota). Zuerst lässt man das Wasser zusammen mit dem Zucker aufkochen und nimmt es dann vom Herd. Anschließend vermischt man es mit dem Passionsfruchtmarmelade und fügt unter kaltem Rühren das Carrageen (Iota) hinzu. Das Gemisch wird nun wieder kurz aufgekocht, der entstehende Schaum abgeschöpft und die Masse in eine gewünschte Form umgefüllt und kaltgestellt. Nach ca. 2-3 Stunden ist das Gelee fest und kann angerichtet werden. Die Gelierfähigkeit ist bereits unter „Gelierung“ erläutert. Der Geschmack ist gleich, wenn nicht sogar noch intensiver, als der einer Passionsfrucht, die „Textur“, also das Erscheinungsbild des Produkts, ist ein völlig anderes als man es gewöhnt ist. „Man kann durch diese Technik auch andere Dinge wie z.B. Nudeln aus verschiedensten Flüssigkeiten herstellen“, erklärte mir Herr Wolf.

Zuletzt zeigte mir Herr Wolf die Herstellung von Gummibären aus Olivenöl. Dafür werden jedoch keine Produkte der Molekularküche benötigt. Man nimmt dazu 100g Zucker, 50ml Wasser, 100ml Olivenöl und 2 Blatt Gelatine. Wichtig für dieses Rezept ist, dass man eine leistungsfähige Küchenmaschine besitzt, da die Masse sonst später nicht richtig vermischt werden kann, und sich somit keine Emulsion und schließlich keine Gummibären bilden. Nun zur Zubereitung. Man bringt das Wasser samt dem Zucker unter langsamer Erhöhung der Temperatur zum Kochen. Nach fünf Minuten gibt man die heiße Masse in die besagte Küchenmaschine und gibt unter ständigem Rühren das Öl in kleinen Portionen hinzu. Die Masse passiert man, nachdem die gesamte Menge Öl verbraucht ist, durch ein Sieb und arbeitet zwei Blatt Gelatine, die bereits aufgeweicht wurde, mithilfe eines Rührbesens in die Masse ein. Je nachdem welche Art von Form man bevorzugt, kann man die Masse nun in beliebige Formen und Füllen (Abbildung 52), ganz nach eigenem Gefallen. Herr Wolf erklärte mir, dass wenn man bei diesem Gericht die herkömmliche Gelatine mit Gellan austauscht, es möglich wäre die Gummibären zu erhitzen. Dies ist mit Blattgelatine nicht möglich, da sie ab ca. 50°C zu schmelzen beginnt.

Nach diesem äußerst aufschlussreichen Tag war auch ich endlich in der Welt der „metaphoric cuisine“ angekommen.

8. Molekulare Küche - Spielerei oder Revolution der Küchentechnik?

Doch nun stellt sich die Frage, was es mit dieser „Küchenrevolution“ wirklich auf sich hat. Denn betrachtet man die Star-Köche dieses Genres (Heston Blumenthal und Ferran Adriá) genauer, fällt auf, dass beide keine Ausbildung als Koch vorzuweisen haben. Sie sind beide mehr oder weniger Autodidakten. Daher auch der größte Aufhänger der meisten Kritiker die sagen, um „molekularkochen“ zu können, brauche man eher eine Chemiespezifische Ausbildung als einen Kochkurs. Doch das ist falsch. Informiert man sich nämlich genauer über Ferran Adriá, wird man auf seine Zeit im „elBulli“ vor dem Molekularkochen treffen und sehen, dass er damals Koch in einem „normalen“ Restaurant mit 2-Michelin Sternen war. Ausserdem ist zu beachten, dass meinen Erfahrungen nach die wenigsten Köcher der Molekularküche die Vorgänge die passieren wirklich kennen oder verstehen, was jedoch einleuchtend ist. Für den Koch ist nur wichtig „dass“ es funktioniert. Das „wie“ kommt erst später. Die meisten „molekular Köche“ verstehen sich auch nicht als Chemiker, sondern vielmehr als Künstler. Dies bestätigten mir auch Herr Rienzner und Herr Wolf während meines Praktikums in Berlin. Die Molekularküche ist keine eigene Art zu Kochen, sie ist viel mehr ein Zusatz, um ein Essen nicht nur der Sättigung wegen, sondern wegen des Erlebnisses zu genießen. Wenn diese Köche über ihre Art zu Kochen sprechen, sprechen sie von Harmonie, Gefühl, Emotionen und Nervenkitzel. Dies wollen sie auch ihren Gästen vermitteln, wobei jedoch die Frage bleibt, ob sie nicht, ähnlich wie die „nouvelle cuisine“ ihrer Zeit, dem ganzen ein kleines Stück voraus sind und so nur auf Unverständnis treffen. Wird also die molekulare Küche enden wie die „nouvelle cuisine“? Wird sie erst, ähnlich wie die „nouvelle cuisine“ erst mehrere Jahre später die Anerkennung finden die ihr gebührt? Ich denke sie wird nicht enden wie die „nouvelle cuisine“, da sie nicht ein eigenes kulinarisches Genre darstellt und es somit leichter hat zu „überleben“. Darüber hinaus sind die Spitzenreiter dieser Art von Küche auch die Spitzenreiter der „Kochranglisten“. Um sich jedoch ein genaues Urteil bilden zu können, sollte man die „metaphoric cuisine“ selbst erlebt haben, da sie mit Worten nur sehr schwer zu beschreiben ist.

9. Quellenverzeichnis:

Bücher:

1. Weber-Lamberdière M., Die Revolutionen des Ferran Adriá, Bloomsbury Berlin, 2007
2. Belitz H.-D., Prof. Dr., Grosch W., Prof. Dr., Schieberle P., Prof. Dr., Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer-Verlag 2001
3. Amann W., Eisner W., Gietz P., Grunwald B., Maier J., Scharf K.-H., Schierle W., Stein-Bastuck R., Elemente Chemie, Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2001

Andere Informationsquellen:

4. Gallenberger K., Skript zum Leistungskurschemie Biomoleküle, November 2006
5. Adriá F., Adriá A., TEXTURAS

Internet:

6. <http://khymos.org/history.php> (15.12.2007)
7. <http://www.schuleplusessen.de/schule+plus+essen/informationen/kleines-ernaumlhrungs-abc/hauptn-aumlhrstoffe/kohlenhydrate-und-ballaststoffe.html> (20.12.2007)
8. <http://de.wikipedia.org/wiki/Protein> (2.01.2008)
9. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Pronyl-Lysine.png/150px-Pronyl-Lysine.png> (23.12.2007)
10. http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/07_99.htm (22.01.2008)
11. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Imine_from_ketone.png (23.12.2007)
12. <http://de.wikipedia.org/wiki/Maillard-Reaktion> (4.01.2008)
13. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/1a/Natriumalginat.jpg> (23.01.2008)
14. <http://www.elbulli.com/equipo/index.php?titularlang=titularuk&textlang=textuk&lang=en> (8.01.2008)
15. http://www.theworlds50best.com/2007_list.html (8.01.2008)
16. <http://www.ofb.net/~blakej/elbulli/01-0676.jpg> (23.01.2008)
17. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/141.e401_natriumalginat.html (8.01.2008)

18. <http://h105.ath.cx/fwe.de/gefahrstoffdaten.de/6132-04.gif> (23.01.2008)
19. <http://www.citrotex.de/gif/citronensaure/strukturformel.gif> (23.01.2008)
20. <http://upload.wikimedia.org/math/6/7/6/67681e2d3fcbabc35e0bc704327c6316.png>
(23.01.2008)
21. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/114.e331_natriumcitrat.html
(8.01.2008)
22. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/212.e509_calciumchlorid.html(8.01.2008)
23. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/c/cd/Glucons%C3%A4ure_Anion.svg
(22.01.2008)
24. <http://www.nakskov-gym.dk/kemi/orla/k-laktat.gif> (22.01.2008)
25. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/249.e578_calciumgluconat.html(9.01.2008)
26. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/112.e327_calciumlactat.html
(9.01.2008)
27. <http://www.bioc.unizh.ch/bipweb/lexikon/metaboliten/agar/agarose.jpg>
(22.01.2008)
28. http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/20_lebensmittel/Agar.html (9.01.2008)
29. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/146.e406_agar.html (9.01.2008)
30. http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/20_lebensmittel/Gellan.html (9.01.2008)
31. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/156.e418_gellan.html (9.01.2008)
32. <http://www.cpkelco.com/carrageenan/images/06prod01.gif> (22.01.2008)
33. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/6.e407_carrageen.html(10.01.2008)
34. <http://de.wikipedia.org/wiki/Methylcellulose>(10.01.2008)
35. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/176.e461_methylcellulose.html
(10.01.2008)
36. <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/funktionspolymere/verdicker/verdickungsmittel.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/funktionspolymere/verdicker/mecell.vscml.html> (10.01.2008)
37. <http://www.abipur.de/hausaufgaben/alt/files/html/26300.jpg> (22.01.2008)
38. <http://de.wikipedia.org/wiki/Lecithin> (11.01.2008)
39. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/109.e322_lecithin.html (11.01.2008)
40. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Phospholipid.svg>
(22.01.2008)

41. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Sucrose_monostearate.svg
(21.01.2008)
42. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/192.e473_zuckerester_von_speisefetts%E4uren.html
(11.01.2008)
43. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/e/e5/Stearins%C3%A4ure.svg>
(21.01.2008)
44. <http://www.scientificpsychic.com/fitness/monoglyceride.gif> (21.01.2008)
45. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/185.e471_mono_diglyceride_von_speisefetts%E4uren.html
(11.01.2008)
46. <http://www.scientificpsychic.com/fitness/xanthan.gif> (21.01.2008)
47. http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/153.e415_xanthan.html
(12.01.2008)
48. <http://www.gourmetrics.de/2006/05/wissen-alginat-basics-teil-1.html> (12.01.2008)
49. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Grenzfl%C3%A4cheUndEmulsion.png> (20.01.2008)
50. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/d/d1/TensideHyrophilHydrophob.png>
(20.01.2008)
51. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/e/e3/TensidOel.png> (20.01.2008)
52. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/7/7b/Schaumbildung.png> (20.01.2008)
53. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/23/Schaumb1%C3%A4schen.png>
(20.01.2008)
54. http://de.wikipedia.org/wiki/Schaum#Fl.C3.BCssiger_Schaum (12.01.2008)
55. <http://de.wikipedia.org/wiki/Tenside> (13.01.2008)
56. <http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/glossar/v/ve/verdickungsmittel.glos.html> (19.01.2008)
57. <http://de.wikipedia.org/wiki/Verdickungsmittel> (16.01.2008)
58. http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/16/oc/glos_gifs/schiffsche_base.gif (20.01.2008)

10. Danksagung und Selbstständigkeitserklärung

Herrn Florian Orecher für seine kompetente Beantwortung all meiner Fragen und das vermitteln für zwei Treffen im Frischemarkt Niederreuther.

Dem Taller Berlin Team. Frau Monika Neubacher für das Beantworten vieler eMails.
Herrn Cristiano Rienzner und Herrn Martin Wolf für das ermöglichen des Praktikums im Taller Berlin.

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe“.

_____, den _____

Ort

Datum

Unterschrift des Schülers

11. Anlagen:

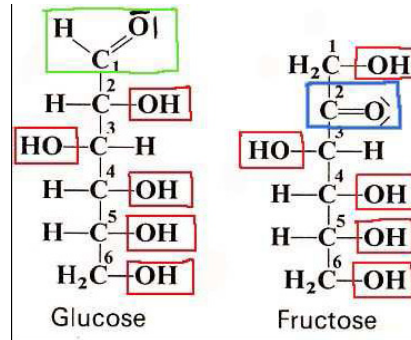


Abbildung 1; Quelle 4 Seite 1

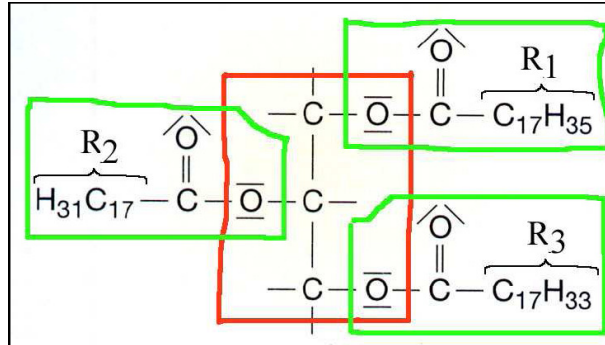


Abbildung 2; Quelle 4 Seite 27

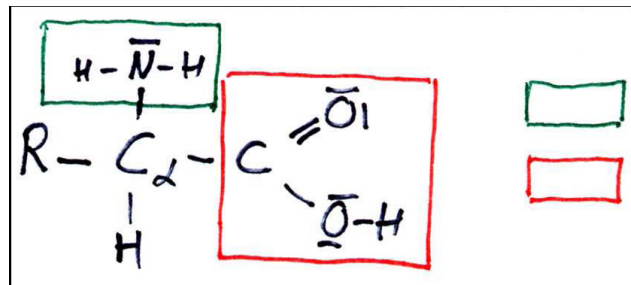


Abbildung 3; Quelle 4 Seite 15

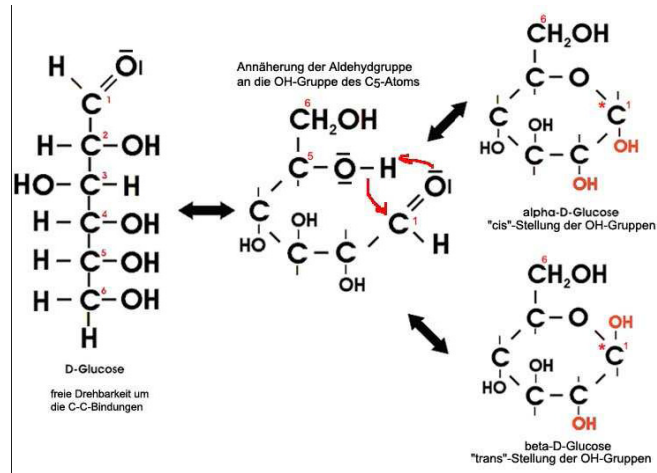


Abbildung 4; Quelle 4 Seite 6

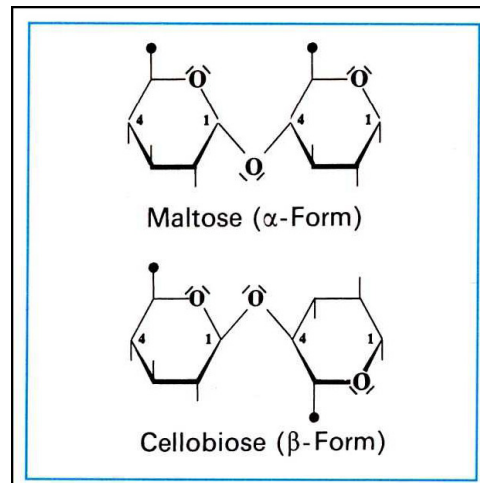


Abbildung 5; Quelle 4 Seite 9

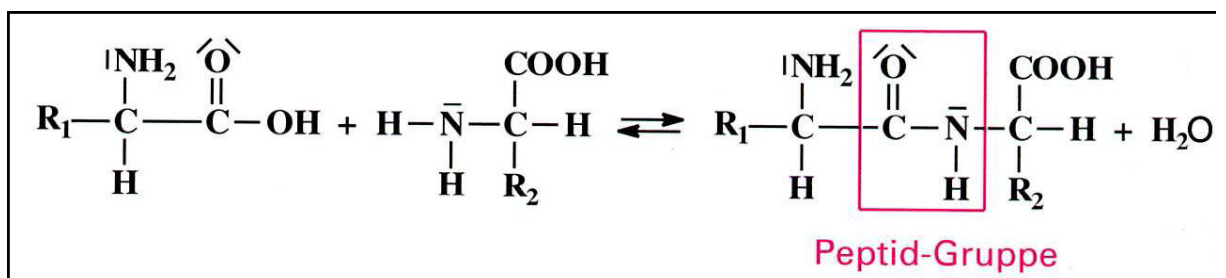


Abbildung 6; Quelle 4 Seite 18

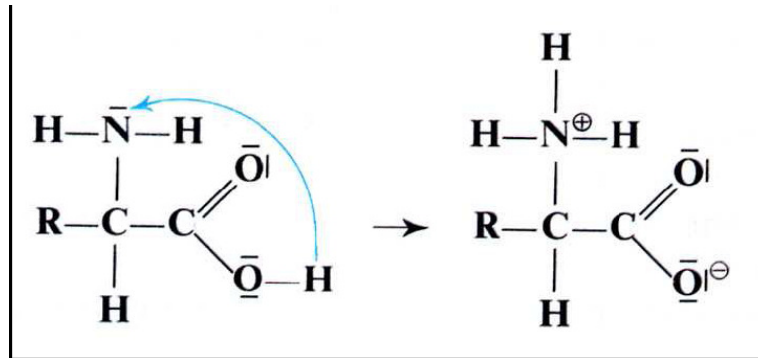


Abbildung 7; Quelle 4 Seite 16

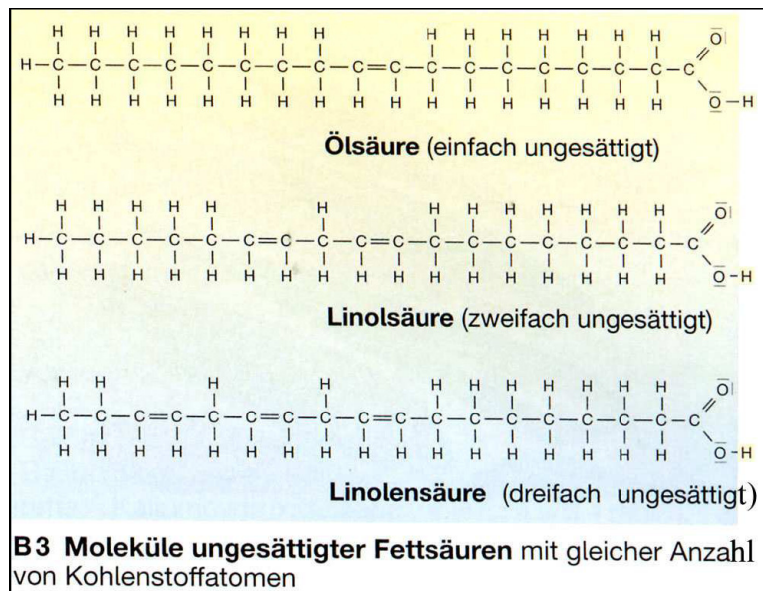


Abbildung 8; Quelle 4 Seite 28

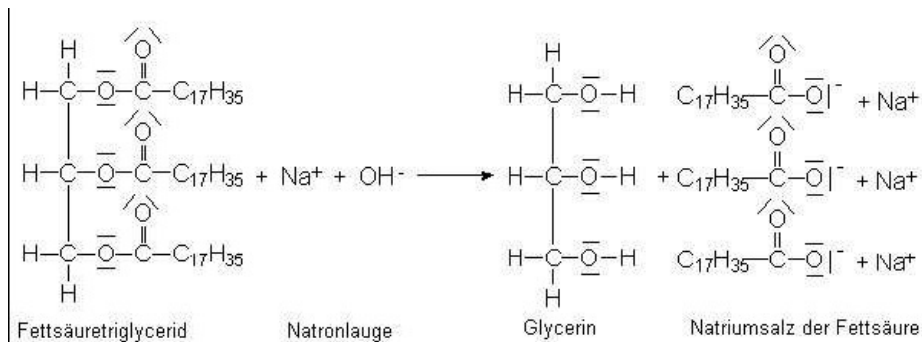


Abbildung 9; Quelle 4 Seite 30

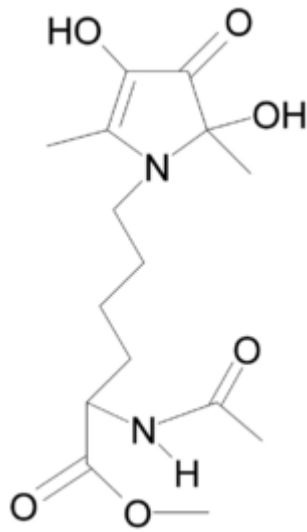


Abbildung 10; Quelle 9

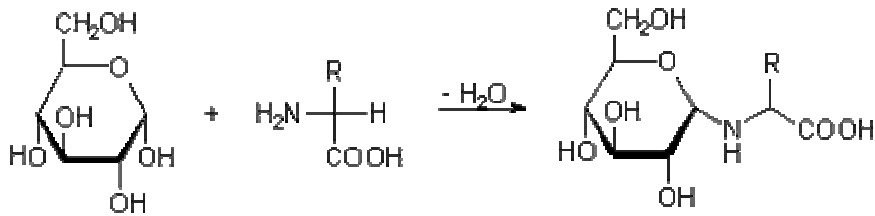


Abbildung 11; Quelle 10

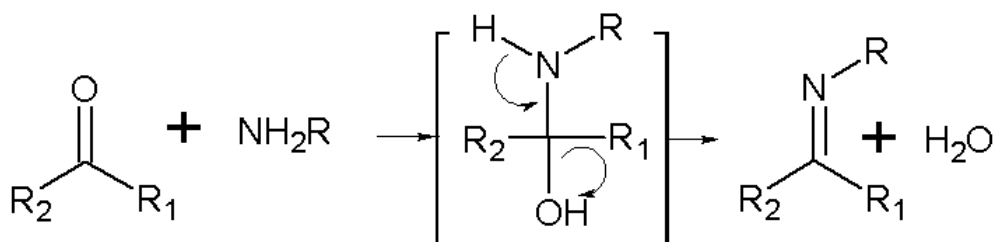


Abbildung 12; Quelle 11

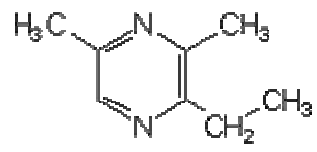


Abbildung 13; Quelle 11

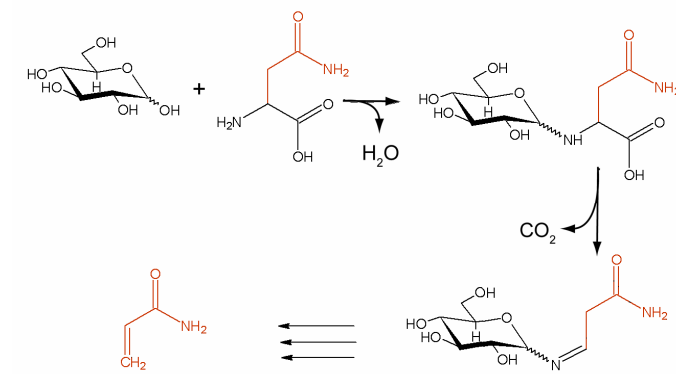


Abbildung 14; Quelle 12



Abbildung 15; Quelle 14



Abbildung 16; Quelle 14



Abbildung 17; Quelle 16

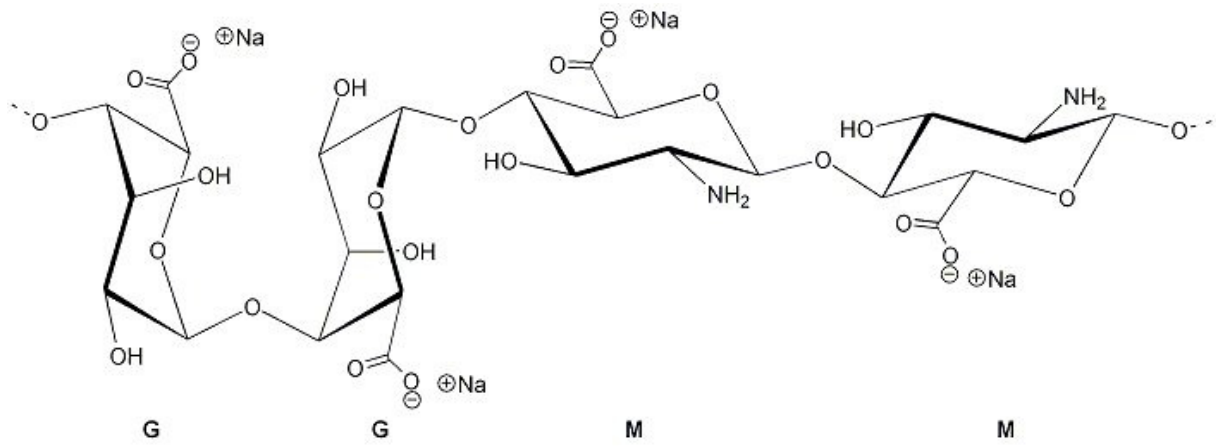


Abbildung 18; Quelle 13

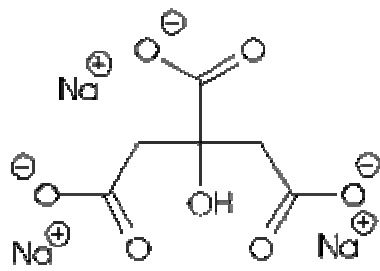


Abbildung 19; Quelle 18

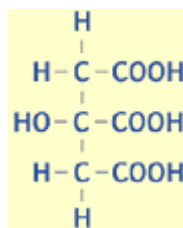


Abbildung 20; Quelle 19

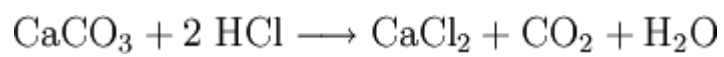


Abbildung 21; Quelle 20

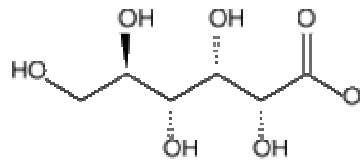


Abbildung 22; Quelle 23

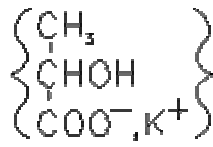
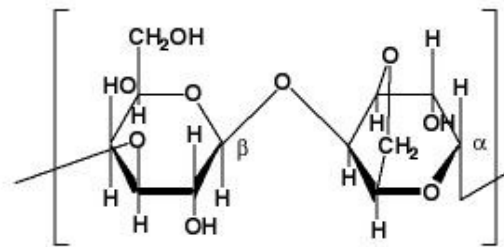


Abbildung 23; Quelle 24



Agarose

Abbildung 24; Quelle 27

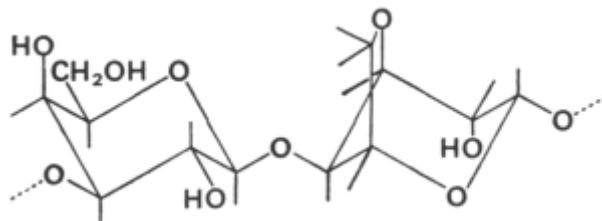


Abbildung 25; Quelle 28

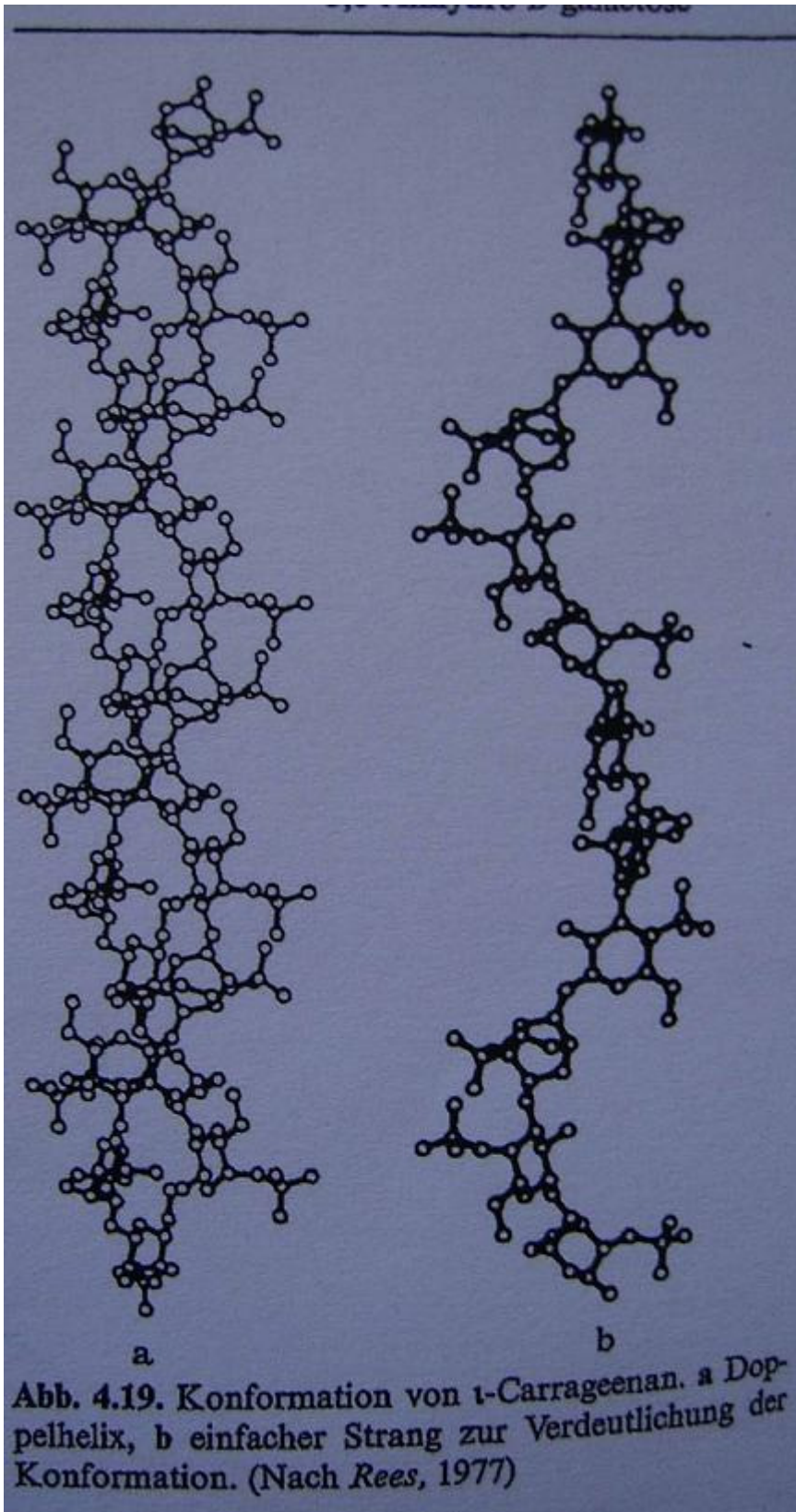


Abbildung 26; Quelle 2 Seite 296

Tabelle 4.20. Bausteine von Carrageenanen

Carrageenan	Monosaccharidbausteine
ι -Carrageenan	D-Galactose-4-sulfat, 3,6-Anhydro-D-galactose-2-sulfat
κ -Carrageenan	D-Galactose-4-sulfat, 3,6-Anhydro-D-galactose
λ -Carrageenan	D-Galactose-2-sulfat, D-Galactose-2,6-disulfat
μ -Carrageenan	D-Galactose-4-sulfat, D-Galactose-6-sulfat, 3,6-Anhydro-D-galactose
ν -Carrageenan	D-Galactose-4-sulfat, D-Galactose-2,6-disulfat, 3,6-Anhydro-D-galactose
Furcellaran	D-Galactose, D-Galactose-2-sulfat, D-Galactose-4-sulfat, D-Galactose-6-sulfat, 3,6-Anhydro-D-galactose

Abbildung 27; Quelle 2 Seite 296

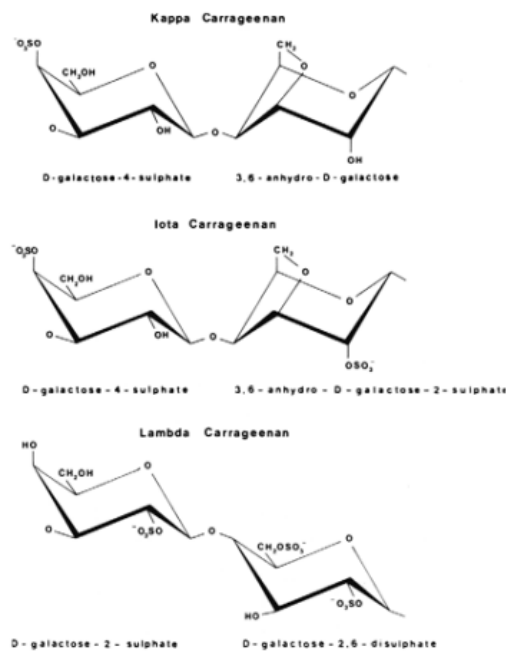
Derivative of 3-linked
galactose unitDerivative of 4-linked
galactose unit

Abbildung 28; Quelle 32

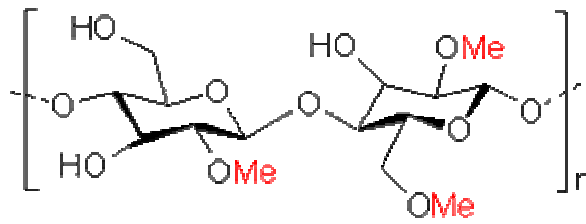
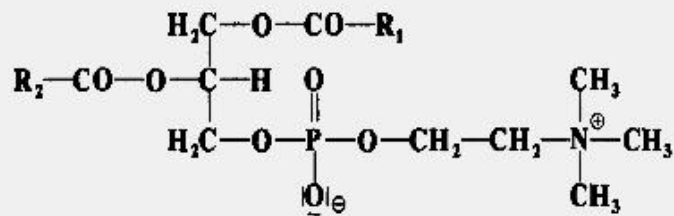


Abbildung 29; Quelle 36



α-
Lecithin

Abbildung 30; Quelle 37

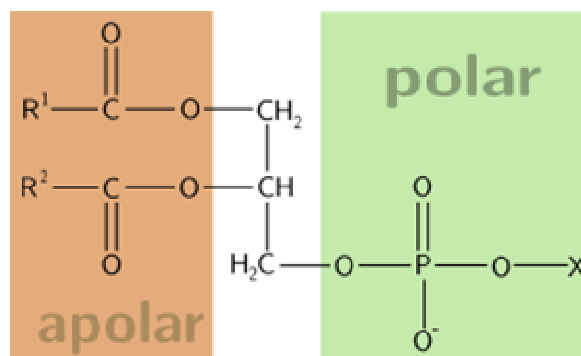


Abbildung 31; Quelle 40

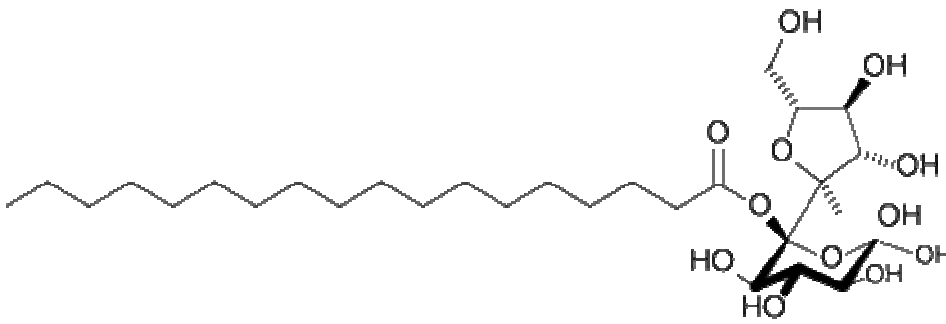


Abbildung 32; Quelle 41



Abbildung 34; Quelle 43

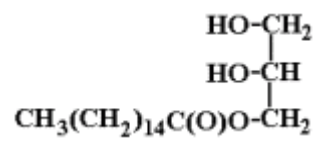


Abbildung 35; Quelle 44

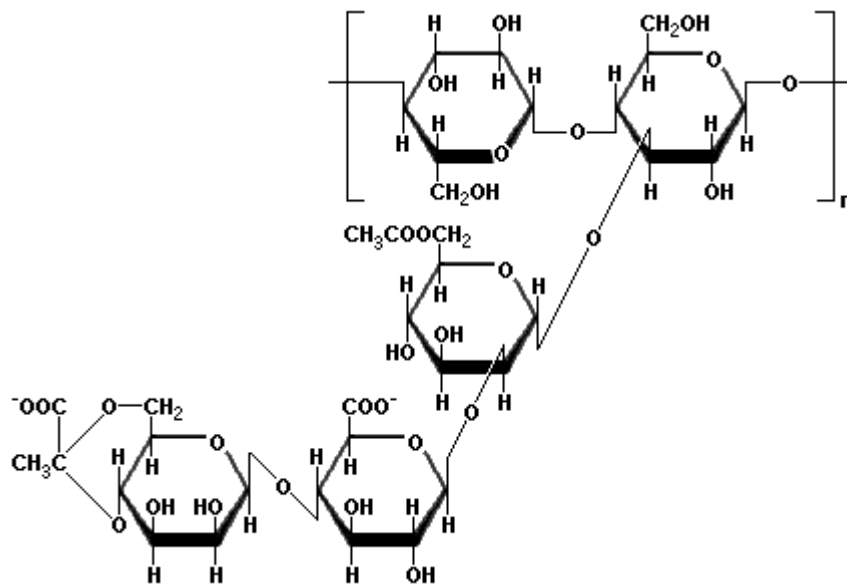


Abbildung 36; Quelle 46

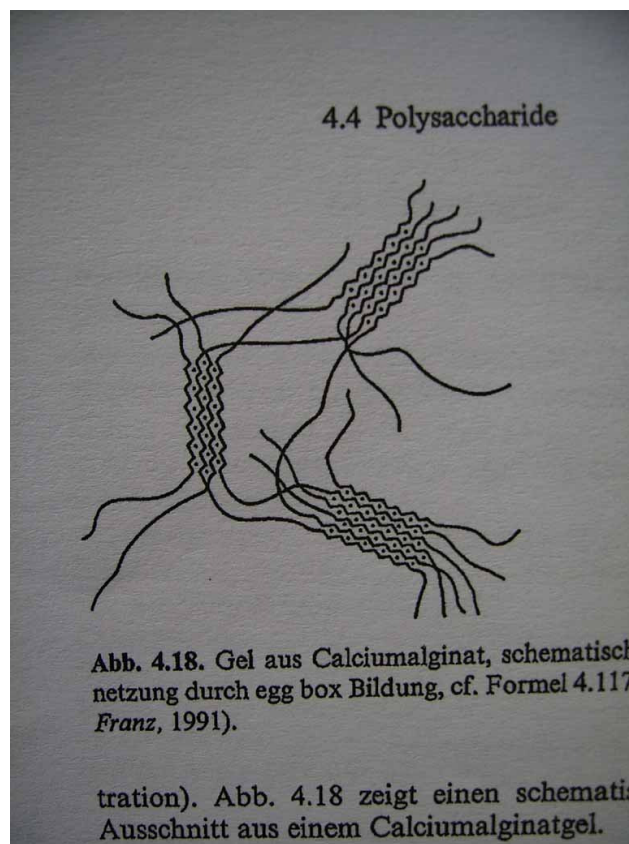


Abbildung 37; Quelle 2

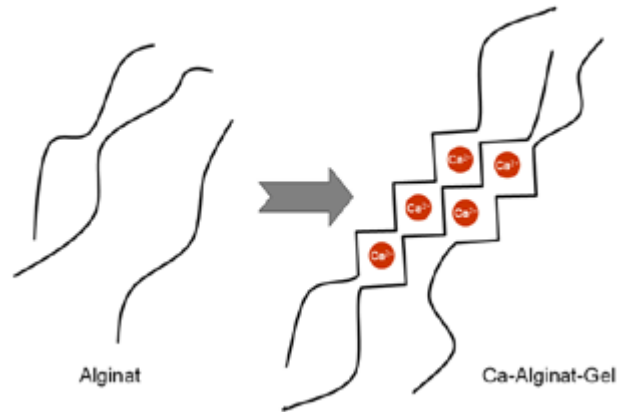


Abbildung 38; Quelle 48

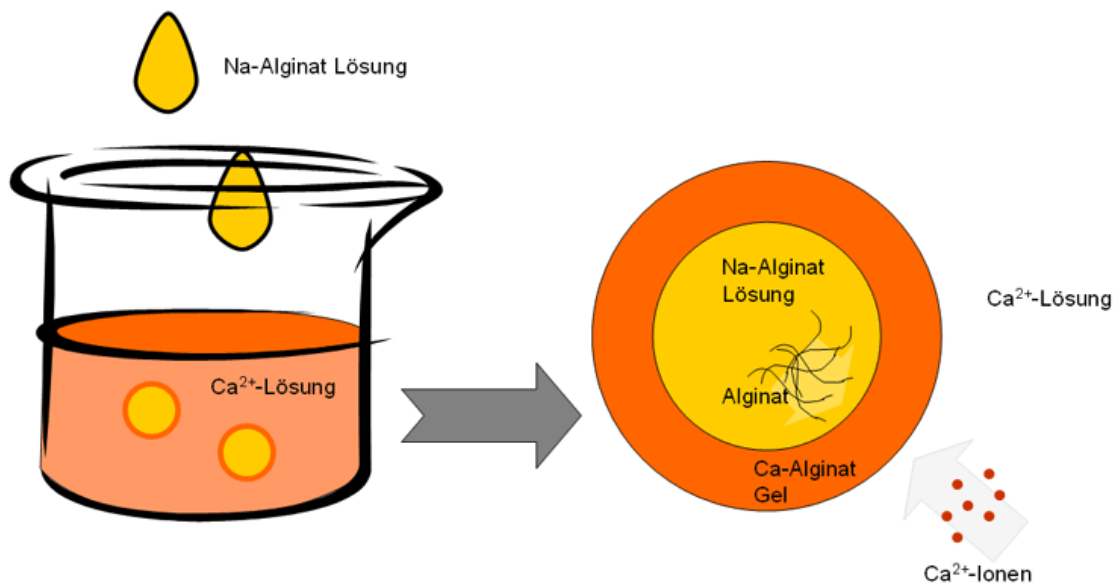


Abbildung 39; Quelle 48

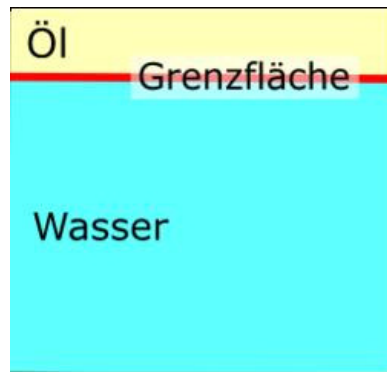


Abbildung 40; Quelle 49

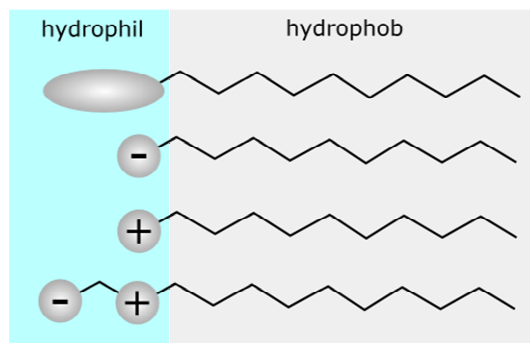


Abbildung 41; Quelle 50

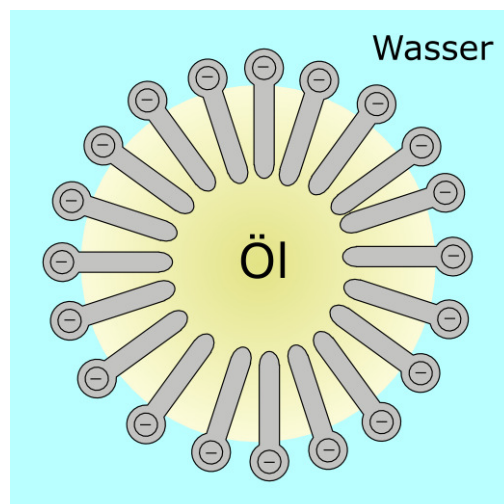


Abbildung 42; Quelle 51

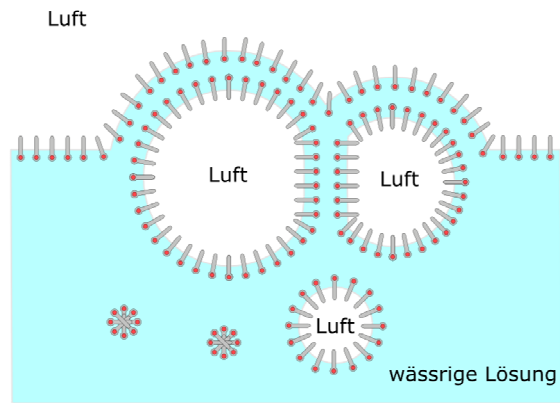


Abbildung 43; Quelle 52

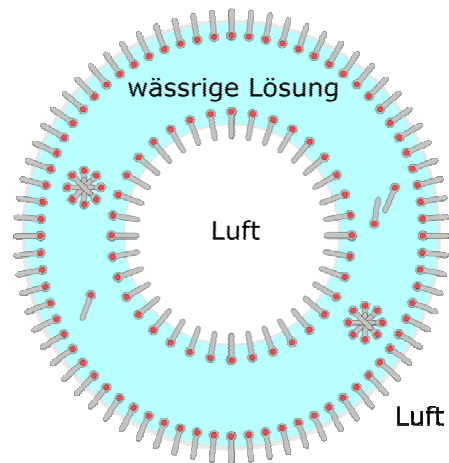


Abbildung 44; Quelle 53



Abbildung 45



Abbildung 46



Abbildung 47



Abbildung 48

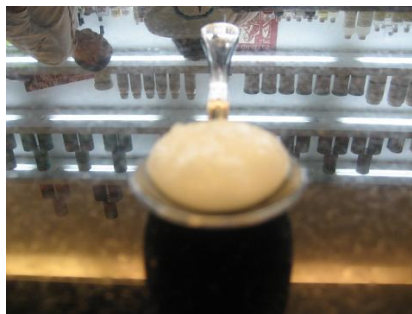


Abbildung 49



Abbildung 50



Abbildung 51



Abbildung 52; Gummibären auf den Löffeln zu erkennen.

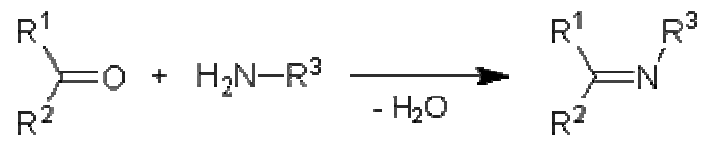


Abbildung 52; Quelle 58