

1 Überblick zu Lebensmittelhydrokolloiden

1.1 Einführung in die Welt der Hydrokolloide

Der Begriff „Hydrokolloid“ leitet sich vom griechischen Wort „*hydro*“ Wasser und „*kolla*“ Leim ab. Hydrokolloide sind kolloidale Stoffe mit einer Affinität für Wasser. Aus chemischer Sicht sind sie makromolekulare hydrophile Substanzen. Einige von ihnen sind vollständig in Wasser löslich und bilden kolloidale Lösungen. Andere Stoffe sind nur in der Lage, in Wasser zu quellen und können mittels Scherkräften dispergiert werden. Hydrokolloide produzieren viskose Lösungen, Pseudogele oder Gele in Wasser. Die heterogene Gruppe umfasst Polysaccharide und Proteine. Es können auch anteilig gemischte Strukturen wie Glycoproteine auftreten.

Hydrokolloide werden in technischen und regulierten Applikationen eingesetzt, um die Produkte zu verdicken, um ihre Konsistenz einzustellen und um die Formulierungen zu stabilisieren. In verarbeiteten Lebensmitteln, sind sie allgegenwärtig – keine andere Gruppe von Zutaten und Zusatzstoffen trägt mehr zur Viskosität, zur Textur und zum Mundgefühl bzw. zum Körper bei als die Hydrokolloide. Die Zielsetzungen sind dabei sehr unterschiedlich.

Ein Ziel ist dabei in der Regel, eine gleichbleibende Qualität zu erzeugen, um rohstoff- und lagerbedingte Schwankungen auszugleichen. Beispielsweise soll der Fruchtojoghurt immer „gleich schmecken und aussehen“, unabhängig davon, welche Zusammensetzung die Milch hat, welche Konsistenz die dickgelegte Milch nach der Fermentation aufweist oder wie lange das Endprodukt bereits im Supermarktregal steht.

Ein anderes Ziel kann das Erreichen einer idealen Verarbeitungviskosität während der Produktion oder beim Endverbraucher sein. Zum Beispiel garantiert eine hohe Viskosität eine sehr hohe Taktrate bei der kalten Abfüllung von lange-haltbaren Produkten, bei der anschließenden Sterilisation stört diese starke Verdickung jedoch und birgt zusätzlich ein hohes mikrobiologisches Risiko. Der Einsatz eines Hydrokolloids wie Guar oder Carboxymethylcellulose (CMC) kann eine saubere Abfüllung bei Raumtemperatur und danach eine effiziente Haltbarmachung durch Erhitzung ermöglichen, weil diese Polysaccharide bei hohen Temperaturen ihren Verdickungseffekt (ir)reversibel verlieren.

Hydrokolloide sind keine echten Emulgatoren, weil sie meist nicht die charakteristische Verknüpfung von lipophilen und hydrophilen Gruppen in der Molekülstruktur besitzen.

Darüber hinaus sind die Moleküle in der Regel zu groß und teilweise strukturell zu komplex. Dadurch sind sie nicht flexibel genug, um ausreichend schnell die Grenzflächen zu besetzen, die bei der Homogenisierung von Öl-Wasser-Gemischen entstehen. Eine relativ hohe Geschwindigkeit der Grenzflächenbelegung ist die Voraussetzung, um einen entspre-

chend kleinen mittleren Tropfendurchmesser zu erhalten, welcher wiederum zu langfristig stabilen Emulsionen von hoher Qualität führt. Nichts desto trotz können diese Verdickungsmittel alle Arten von O/W-Emulsionen durch Erhöhung der Viskosität der Wasserphase oder durch Wechselwirkungen mit oberflächenaktiven Substanzen stabilisieren. Einige Hydrokolloide wie z. B. Gummi arabicum oder nicht-ionische Produkte wie Methylcellulose (MC), HPMC oder Propylenglycolalginat (PGA) reduzieren die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten und weisen deshalb begrenzte emulgierende Eigenschaften auf. [1]

1.2 Herkunft und Klassifizierung der Hydrokolloide

Nach Herkunft und Art der Herstellung können Hydrokolloide in vier verschiedene Gruppen eingeteilt werden [1]:

- Hydrokolloide – nur aus Pflanzen isoliert (ohne chemische Modifikation)
- durch Fermentation gewonnene Hydrokolloide
- Pflanzliche Hydrokolloide mit chemischer Modifikation
- Hydrokolloide mit tierischem Ursprung

Nach ihrem botanischen Ursprung und ihrer spezifischen Funktion im pflanzlichen Organismus können natürlich vorkommende pflanzliche Hydrokolloide unterteilt werden in:

- Extrakte und Auszüge aus Landpflanzen und Meeresalgen:
 - Polysaccharide mit Funktion als strukturbildende Stoffe, Gerüstsubstanzen und wasserbindende Stoffe
 - Beispiel: Cellulose, Pektine, Agar, Alginate, Carrageenane, Inulin, Furcellaran, Lärchengummi
- Pflanzenextrakte und Samenmehle:
 - Substanzen mit Funktion als Reservepolysaccharid
 - Beispiel: Stärken, Guargummi, Johannisbrotkernmehl, Taragummi, Okra, Cassia, Tamarindensamengummi, Bockshornkleegummi, Lichenin
- Exsudate:
 - Schutzkolloide, die aus Wunden abgesondert werden
 - Beispiel: Gummi arabicum/Akaziengummi, Tragant, Karayagummi, Ghattigummi

Zusätzlich gibt es:

- Mikrobielle oder bakterielle Polysaccharide (Bestandteile der Zellwand oder extrazelluläre Matrices z. B. zur Fixierung von Mikroorganismen auf Oberflächen):
Xanthan, Dextran, Curdlan, Scleroglucan, Gellan, Pullulan
- Modifizierte Polysaccharide (durch chemische und/oder physikalische Modifizierung):
Propylenglycolalginat, amidierte Pektine, modifizierte Stärken, Cellulosederivate, Chitosan, modifiziertes Gummi arabicum
- Tierische Polysaccharide wie Chitin
- Proteine mit tierischem oder pflanzlichem Ursprung:
Gelatine, Caseine, Molkenproteine, Gluten

Abbildung 1-1 zeigt eine Übersicht der weltweit verwendeten Lebensmittelhydrokolloide.

1 Überblick zu Lebensmittelhydrokolloiden

Für den Einsatz in regulierten Applikationen stehen im Prinzip noch weitere Substanzen zur Verfügung. Allerdings werden diese Hydrokolloide oft nur geographisch begrenzt verwendet, und – abhängig von den jeweils geltenden Rechtsvorschriften und ihrer Verfügbarkeit – nicht in industriell hergestellten Produkten eingesetzt.

Bitte überprüfen Sie stets zuerst die einschlägigen rechtlichen Grundlagen, bevor Sie einen dieser Stabilisatoren, Gelier- oder Verdickungsmittel in Ihre Formulierung einarbeiten.

Die einzelnen Substanzen werden in den nachfolgenden Kapiteln (→ Kapitel 3–7) näher beschrieben. Es werden Informationen zu den Rohstoffen bzw. der Herkunft, zur Herstellung und zur Qualität, zur chemischen Struktur, zu den Eigenschaften, zur Handhabung, zu den Einsatzmöglichkeiten, zur Toxikologie und zur rechtlichen Situation gegeben. Für die am häufigsten verwendeten Produkte finden Sie Übersichtstabellen (→ Tabellen 3-1 bis 7-1) in diesem Fachbuch, die eine schnelle Orientierung ermöglichen sollen. Das Ziel der tabellarischen Aufstellung ist es, die wichtigsten Merkmale auf einen Blick zu präsentieren, um die Entwicklungsarbeit zu vereinfachen. Dadurch kann der Anwender schnell prüfen, ob der gewählte Stoff generell für eine bestimmte Applikation geeignet ist oder nicht.

Um auch zukunftsweisend zu arbeiten, werden weitere Substanzen vorgestellt, die interessante Eigenschaften und Funktionalitäten besitzen, aber bisher nicht oder nur begrenzt industriell, z. B. in ausgewählten pharmazeutischen Applikationen, genutzt werden. Beispiele hierfür sind Bockshornkleegummi, Lichenin und Chitin bzw. Chitosan.

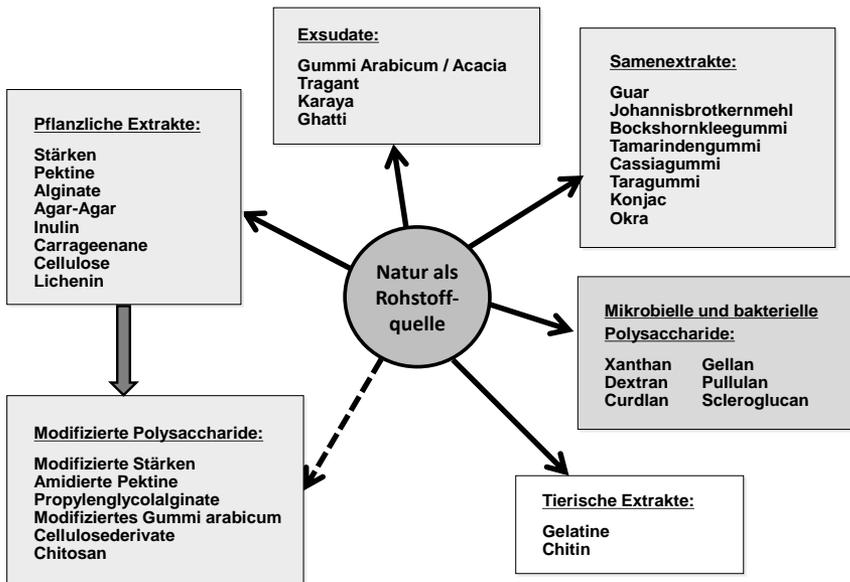


Abb. 1-1 Überblick der Lebensmittelhydrokolloide – Globaler Einsatz [2]

1.3 Chemie und Konformation von Polysacchariden

Der Fokus dieser Zusammenstellung liegt auf der Betrachtung der heterogenen Gruppe der Polysaccharide, da diese die meisten Hydrokolloide stellt. Dabei werden sowohl pflanzliche als auch bakterielle Polysaccharide beschrieben. Eine Ausnahme bildet Gelatine, die tierischen Ursprungs ist und die Gruppe der Proteine vertritt. Eine Sonderstellung nimmt auch Gummi arabicum bzw. Akaziengummi ein, es ist eine „gemischte Substanz“ aus mindestens drei Komponenten – einem Kohlenhydratanteil (= Arabinogalactan, AG), einem Proteinanteil (= Arabinogalactanprotein, AGP) sowie einem sog. Glycoprotein (= GP). Auch die Samenmehl-Galactomannane enthalten einen gewissen Proteinanteil, der zwar oft in der Literatur als Verunreinigung dargestellt wird, jedoch als positiven Begleiteffekt wichtige funktionelle Eigenschaften wie z. B. ein gutes Emulgiervermögen mit sich bringen kann. Eine klare chemische Abgrenzung ist deshalb nicht immer möglich und erstrebenswert.

1.3.1 Chemischer Aufbau und allgemeine Fakten

Polysaccharide sind Makromoleküle, für die der Begriff „Polymer“ in diesem Fachbuch synonym verwendet wird. Sie besitzen ein hohes Molekulargewicht, das zwischen wenigen Tausend und mehreren Millionen Dalton bzw. g/mol liegen kann. Wie auch die Oligosaccharide sind die Polysaccharide aus Monosacchariden aufgebaut, die über glycosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Durch saure Hydrolyse kann man die makromolekulare Struktur der Polysaccharide spalten und sie in ihre Monosaccharidbausteine zerlegen. Die Strukturklärung der Polymere kann durch Totalhydrolyse, chemische oder enzymatische Partialhydrolysen erfolgen. Letztere liefern Oligosaccharide, deren Analyse Aufschluss über Monosaccharidsequenzen sowie über Position und Verknüpfungstyp gibt.

Die Polysaccharide werden auch als Glycane bezeichnet. Man unterscheidet:

- Homoglycane – sie bestehen aus nur einem Baustein (z. B. Cellulose, Stärke)
- Heteroglycane – sie werden aus mehreren Bausteinen gebildet (z. B. Guar).

Die Monosaccharide können linear verknüpft sein, wie es beispielsweise Cellulose, Dextrane und Amylose zeigen. Alternativ können die Zuckerbausteine verzweigt vorliegen. Amylopektin, Guar, Johannisbrotkernmehl und Xanthan sind Beispiele dafür. Die Häufigkeit der Verzweigungsstellen und die Länge der Seitenketten können dabei allerdings sehr unterschiedlich sein. Es wird zwischen Kammpolymeren (z. B. Xanthan) und hypervverzweigten Polymeren (z. B. Gummi arabicum, Tamarindengummi) unterschieden.

Die Sequenz der Monosaccharidreste kann:

- periodisch sein, wobei die Periode einen oder mehrere Reste umfassen kann (z. B. Cellulose, Amylose).
- Sie kann lange periodische Abschnitte haben, die durch aperiodische Sektionen voneinander getrennt werden (z. B. Carragenane, Alginate, Pektine), und
- sie kann vollständig aperiodisch sein (z. B. Kohlenhydratkomponenten von Glycoproteinen).

Nur wenige Polysaccharide enthalten mehr als fünf verschiedene Bausteine. Typische Monomere sind D-Glucose, D-Mannose, D- und L-Galactose, D-Glucuronsäure und D-Galacturonsäure, zusätzlich können Arabinose, Rhamnose, Xylose und Fucose auftreten. Dementsprechend sind Polysaccharide zumeist neutral oder negativ geladen. Kationische Polymere treten seltener auf. Häufig werden auch modifizierte Zuckereinheiten gefunden. Beispiele sind die 3,6-Anhydro-L-Galactose als intramolekular veretherte Zuckereinheit in der Agarose des Agar-Agars oder die acetylierte und acetalisierte Mannose im Xanthan.

Die chemische Struktur der Monomereinheiten und die Morphologie der Polymere haben einen signifikanten Einfluss auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Substanzen wie z. B. die Löslichkeit in einem spezifischen Lösungsmittel. Die Eigenschaften können sehr unterschiedlich sein. Es gibt wasserunlösliche Polysaccharide wie Cellulose, die erst durch eine chemische Modifizierung in einen wasserlöslichen oder einen organolöslichen Celluloseether überführt werden muss. Es gibt sehr gut kaltwasserlösliche Polysaccharide (wie z. B. Xanthan) und schlecht kaltwasserlösliche Hydrokolloide wie Johannisbrotkernmehl, das zur vollständigen Lösung eine Temperatur von 80 °C braucht. Als Folge von intermolekularen Wechselwirkungen zwischen den Polymerketten bilden viele Polysaccharide Gele, die über Wasserstoff- oder Salzbrücken stabilisiert werden. Viele Polysaccharide sind exzellente Filmbildner.

Neben den Proteinen und der DNA bzw. RNA bilden die Polysaccharide die dritte große Klasse von Biopolymeren. Anders als bei diesen ist ihre Struktur aber nicht exakt genetisch festgelegt. Polysaccharide sind polydispers, zeigen also keine homogene Struktur und keine einheitlichen Polymermerkmale. Außerdem kann das Ausmaß der Verzweigung und Substitution stark variieren, wobei häufig die Wachstumsbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf die exakte Struktur und somit auch auf die Eigenschaften haben. [3] [4]

1.3.2 Räumliche Anordnung (Konformation)

Die Art der vorliegenden Monosaccharidreste sowie Position und Typ ihrer Verknüpfung bestimmen die Konformation der Polysaccharidkette. Neben irregulären Konformationen sind reguläre Konformationen bekannt, die zumindest partielle periodische Sequenzen voraussetzen. Nachfolgend werden einige typische Konformationen am Beispiel von polysaccharidischen Hydrokolloiden erläutert. Man unterscheidet [3]:

- **Gestreckte, bandförmige Konformation („Ribbon type“):**

Dieser Typ ist für 1,4-verknüpfte β -D-Glucopyranosereste typisch, wie sie z. B. bei Cellulose vorliegen (\rightarrow Abb. 1-2). Dabei ergibt sich die gestreckte Konformation der Kette aus der Zick-Zack-Geometrie der von den Monomeren ausgehenden Bindungen zu den Sauerstoffbrücken.

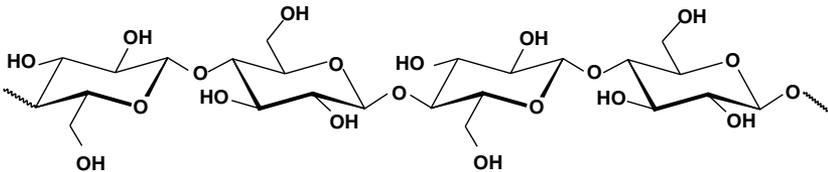


Abb. 1-2 Molekül der Cellulose (Polymerisationsgrad „n“ > 1.000–15.000)

Die Kette kann etwas gestaucht sein, so dass H-Brücken zwischen OH-Gruppen benachbarter Reste möglich werden, die zur Stabilisierung beitragen. Eine stärker gefaltete bandförmige Konformation kann ebenfalls auftreten, diese Anordnung findet sich z. B. bei Pektinen und Alginaten. Zum Teil werden diese Ketten durch Ionen wie Ca^{2+} stabilisiert und haben das Aussehen einer Eierschachtel. Der Ausdruck „Egg-Box-Modell“ hat sich dafür etabliert. Das Modell demonstriert Abbildung 1-3.

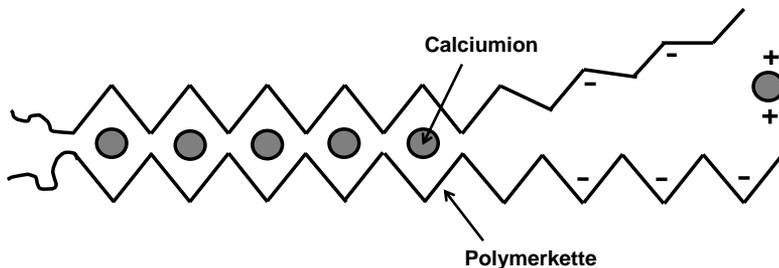


Abb. 1-3 Eierschachtel-Modell („Egg-Box-Modell“)

- **Helicale Konformation („Hollow helix type“):**

Dieser Typ tritt typischerweise bei 1,3-verknüpften β -D-Glucopyranoseresten auf. Die helicale Konformation der Kette kann aus einer U-förmigen Geometrie der von den Monomeren ausgehenden Bindungen zu den Sauerstoffbrücken folgen. Eine entsprechende Geometrie und damit Helix-Konformation hat der Stärkebaustein Amylose (1,4-verknüpfte α -D-Glucopyranosylreste \rightarrow Abb. 3-7). Helicale Konformationen kön-

nen sich auf verschiedene Weise stabilisieren. Wenn der Durchmesser der Helix groß genug ist, kann es zur Bildung von Einschlussverbindungen kommen. Bei gestreckteren Ketten bilden sich verdrillte Doppel- und Tripelhelices aus. Bei noch stärker gestreckten Ketten ist eine Packung ohne Verdrillung möglich.

- **Verdrehte Konformation („Crumpled type“):**

Dieser Typ findet sich z. B. bei 1,2-verknüpften β -D-Glucopyranoseresten, dem eine verdrehte Geometrie der von den Monomeren ausgehenden Bindungen zu den Sauerstoffbrücken zugrunde liegt. Die bestehenden Möglichkeiten für die Ausbildung geordneter Konformationen sind für diesen Bindungstyp kleiner als für die anderen besprochenen Fälle. Polysaccharide dieses Typs spielen nur eine geringe Rolle.

- **Locker gebundene Polysaccharide („Loosely jointed type“):**

Polysaccharide mit 1,6-verknüpften β -D-Glucopyranoseresten haben eine besonders große Variabilität hinsichtlich der Konformation. Die Flexibilität entsteht dadurch, dass die Brücke zwischen zwei Monomeren aus drei frei drehbaren Bindungen besteht und die Zuckerreste weiter voneinander entfernt sind.

- **Gemischte Typen:**

Bei Homoglycanen kann man die zu erwartende Konformation aufgrund der Bindungsgeometrien der von den Monomeren ausgehenden Sauerstoffbrücken voraussagen. Bei Heteroglycanen mit periodischen Sequenzen ist diese Voraussage sehr schwierig, weil verschiedene Konformationen innerhalb des Moleküls auftreten. Als Beispiel dient ι -Carrageenan, bei dem der β -D-Galactopyranose-4-sulfatrest eine U-förmige Geometrie und der 3,6-Anhydro- α -D-galactopyranose-2-sulfatrest eine Zick-Zack-Geometrie hat. Modellrechnungen haben gezeigt, dass die konformativen Möglichkeiten von einem gestauchten Band bis zu einer gestreckten Helix reichen. Die Röntgenstrukturanalyse ergab, dass eine gestreckte Helix vorliegt, die sich als Doppelhelix stabilisiert.

1.3.3 Erläuterung wichtiger Produktparameter

Um nachfolgend die Zusammenhänge zwischen dem chemischen Aufbau und den chemischen und physikalischen Eigenschaften abzubilden, werden an dieser Stelle für die Nicht-Chemiker einige wichtige Begriffe erklärt und definiert. Als Modellmolekül wird die Cellulose ausgewählt, weil sie sich aufgrund ihrer linearen Homoglycan-Struktur besonders gut zur Visualisierung eignet.

- **Polymerisationsgrad (DP):**

Als Polymerisationsgrad wird die Anzahl der Monomereinheiten in einem Polymermolekül bezeichnet. Der DP, von engl. „degree of polymerization“, ist identisch mit dem Quotienten der molaren Masse des Polymers und seiner Wiederholeinheit. Der Polyme-

risationsgrad ist eine dimensionslose Zahl. Ob das Polymer in seinem nativen Zustand vorliegt oder einer Modifikation bzw. Derivatisierung unterzogen wurde spielt keine Rolle. In Abbildung 1-4 ist der Polymerisationsgrad graphisch dargestellt. Dieses Polymer (native Cellulose) hat einen DP von 5.

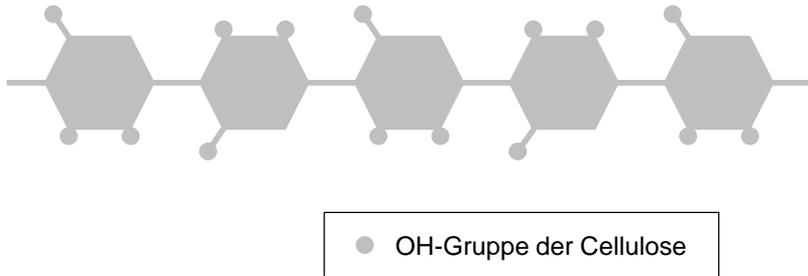


Abb. 1-4 Polymerisationsgrad am Beispiel einer Cellulose mit DP = 5

- **Substitution:**

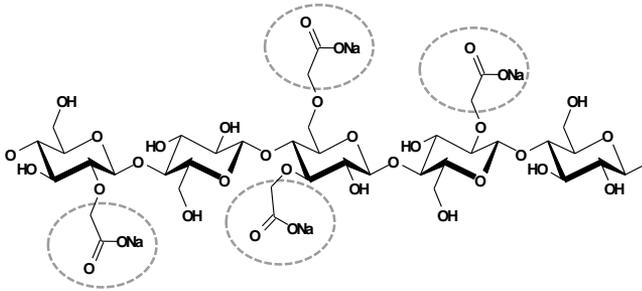
Unter Substitution versteht man eine chemische Reaktion, bei der „fremde“ Atome oder „fremde“ Atomgruppen in ein Molekül eingeführt werden. Dabei wird ein originäres Atom oder eine originäre Atomgruppe durch ein anderes Atom oder eine andere Atomgruppe ersetzt. Eine Substitution kann beispielsweise die Folge einer Veretherungs- oder Veresterungsreaktion sein. Die neu eingeführten Platzhalter bezeichnet man als Substituenten.

- **Höhe der Substitution – Substitutionsgrad (DS):**

Als Durchschnittssubstitutionsgrad eines Polysaccharids bezeichnet man die Anzahl der ersetzten bzw. ausgetauschten Hydroxylgruppen einer Anhydrosaccharideinheit (ASU). Der DS, von engl. „degree of substitution“, ist definiert als:

$$DS = [\text{mol Substituent/mol ASU}]$$

Am Beispiel des linearen β -D-Glucosepolymers Cellulose und des anionischen Celluloseethers Na-CMC wird der Substitutionsgrad erklärt. Da jedes Glucosemonomer als Glucopyranosering drei substituierbare OH-Gruppen besitzt, liegt der DS zwischen 0 (= native Cellulose) und maximal 3 (= vollständig veretherte CMC). Abbildung 1-5 zeigt, wie sich der Substitutionsgrad berechnen lässt. Bei dieser Carboxymethylcellulose (CMC) ergibt sich ein Substitutionsgrad (DS) von 0,8.



$$\text{DS: } (1 + 0 + 2 + 1 + 0) / 5 = 0,80$$

Abb. 1-5 Graphische Darstellung des Substitutionsgrades am Beispiel von CMC

Die Substitution kann sowohl durch Veretherung (z. B. CMC als Celluloseether) als auch durch Vesterung (z. B. HV Pektin als Methyl ester der Polygalacturonsäure) erfolgen. Für manche Hydrokolloide wurden noch substanz-spezifische Begriffe eingeführt.

Einer davon ist der Veresterungsgrad VE (engl. Degree of esterification, DE) bei Pektinen:

$$\text{VE} = 100 \times [\text{Anzahl der Estergruppen} / 100 \text{ Galacturonsäureeinheiten}]$$

Ein weiterer Begriff ist der Amidierungsgrad DA (engl. Degree of Amidation) bei Pektinen:

$$\text{DA} = 100 \times [\text{Anzahl der Amidgruppen} / 100 \text{ Galacturonsäureeinheiten}]$$

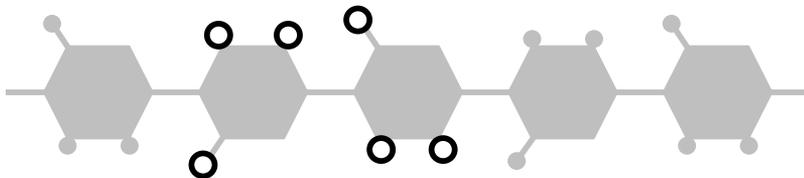
In → Kapitel 3.4 visualisiert die Abbildung 3-5 das Prinzip der Methylveresterung und Amidierung bei Pektinen.

- **Gleichmäßigkeit der Substitution:**

Man unterscheidet zwischen einer gleichmäßigen, der sog. statistischen Verteilung und einer unregelmäßigen blockweisen Verteilung der Substituenten. In Abb. 1-6 sind diese beiden Optionen am Beispiel eines Cellulosederivates dargestellt. Je gleichmäßiger die Substituenten eines Polysaccharids, das ohne Substitution in seinem nativen Zustand unlöslich wäre, verteilt sind, desto niedriger ist der Substitutionsgrad, bei dem eine bestimmte Löslichkeit dieses Polysaccharids erzielt wird.



Statistische Verteilung mit gleichmäßiger Anordnung



Blockweise Verteilung mit unregelmäßiger Anordnung

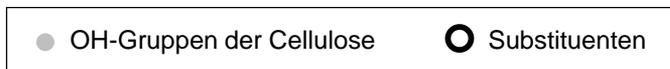


Abb. 1-6 Theoretische Möglichkeiten zur Verteilung von Substituenten

- Molare Substitution (MS):**
 Unter molarer Substitution versteht sich die durchschnittliche Anzahl der Mole an substituierten Gruppen pro Zuckermonomer (z. B. Glucopyranosering). Der Substitutionsgrad allein gibt nicht immer eine vollständige Information über die Höhe der Gesamtsubstitution, weil sich bei einigen Polysacchariden auch bereits substituierte Gruppen z. B. über Etherbrücken mit weiteren Fremdgruppen verbinden lassen. Abbildung 1-7 demonstriert die molare Substitution anhand eines Modell-Celluloseethers mit einem Polymerisationsgrad von 5 Glucoseeinheiten.

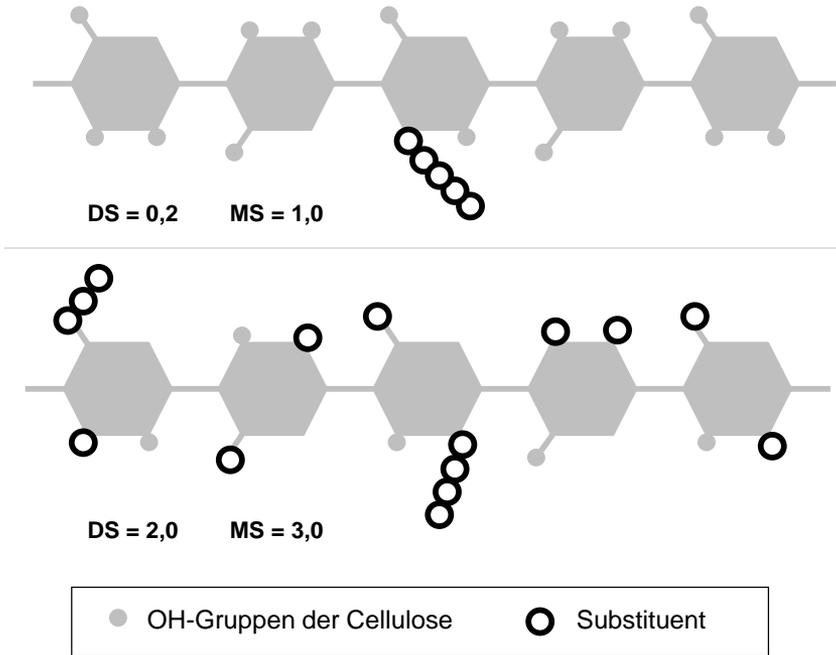


Abb. 1-7 Unterschied zwischen Substitutionsgrad (DS) und molarer Substitution (MS)

In Abbildung 1-8 wird ein Beispiel gezeigt, wie sich der Substitutionsgrad eines Celluloseethers (Gesamt-DS) durch die molare Substitution verändern kann. Die Anzahl der eingeführten Gruppen (Methyl- bzw. Hydroxypropyl) bleibt konstant. Es werden jeweils 6 Methylgruppen und 5 Hydroxypropylgruppen in das Cellulosemolekül „eingebaut“. Der Gesamt-DS kann Werte zwischen 1,2 und 2,2 einnehmen.

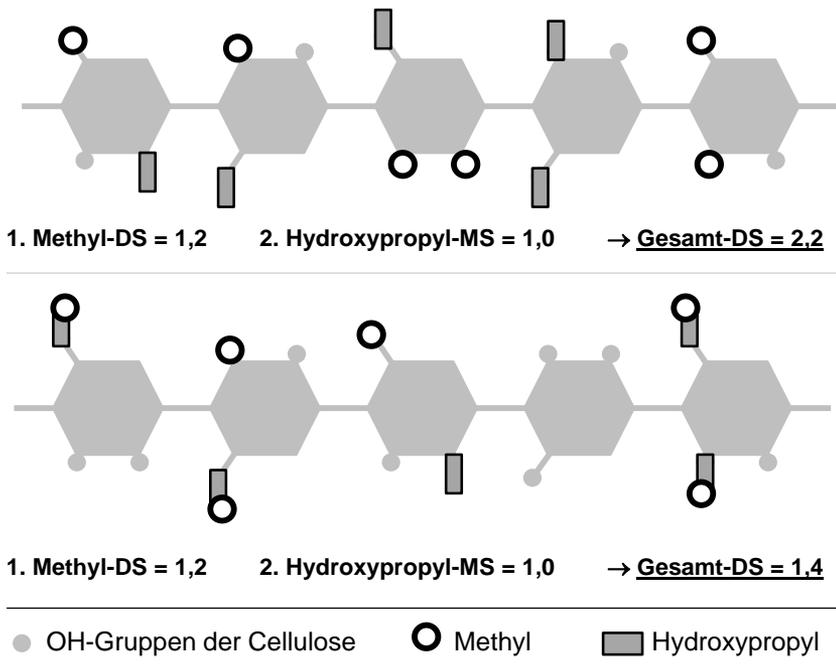


Abb. 1-8 Einfluss der molaren Substitution auf den Gesamt-DS

• **Granulometrie:**

Unter Granulometrie ist die Partikelgrößenverteilung (PGV) zu verstehen. Eine Rolle spielen dabei nicht nur die minimale und die maximale Partikelgröße, sondern auch die Massenanteile der jeweiligen Fraktionen. Bei der (Re-)Hydratisierung, also des In-Lösung-Bringens von Hydrokolloidpulvern, ist dieser Parameter von großer Bedeutung. Feinere Partikel lösen sich zwar deutlich schneller als grobe, aber dieser Vorteil wird oft durch ihre Neigung zur Aggregat- bzw. Klumpenbildung wieder aufgehoben. Klumpen stellen ein hohes mikrobiologisches Risiko dar. Zusätzlich beeinflusst die ungleichmäßige Verteilung des Gelier- oder Verdickungsmittels im Lebensmittel dessen Textur und damit sensorische Qualität negativ. Die Einarbeitungsstrategien zur Verhinderung von Klumpen werden im → Kapitel 2.1 detailliert beschrieben.