

13 Gemüse und Obst

Als Gemüse werden die frischen, eßbaren Pflanzenteile bezeichnet, die roh, gekocht oder konserviert verzehrt werden können. Ausgenommen hiervon sind Früchte mehrjähriger Pflanzen, die zum Obst gehören.

Auch nach der Ernte bleiben Obst und Gemüse noch „lebende Organismen“, anders als bei tierischen Lebensmitteln, bei denen die gesteuerten Lebensvorgänge nach dem Schlachten aufhören. Erst durch thermische Einwirkung sterben die Zellen der Pflanzen ab.

13.1 Gerüstsubstanzen

Die Wände der pflanzlichen Zellen sind vorwiegend aus Cellulose, Hemicellulosen, Lignin und Pektinen aufgebaut. Die Abb. 13.1 zeigt den Aufbau einer Zellwand mit der Lokalisation der einzelnen Gerüstsubstanzen.

Die Mittellamelle und die anschließende Zellwand bestehen neben Cellulose und Hemicellulosen größtenteils aus Pektinen. Die Bildung von Lignin führt zur Verholzung von Möhren, Rettich, Sellerie, Spargel, Kohlrabiknollen, wobei auch die Celluloseschicht dicker wird. Lignin ist eine hochmolekulare, vorwiegend in dreidimensionaler Anordnung vorliegende aromatische Verbindung. Während der Verholzung versteift das Lignin die Zwischenzellräume und ist mit der Cellulose und den Hemicellulosen chemisch verknüpft. Ligningehalte liegen in der Regel bei 0,1–0,3%, höhere Werte (bis 0,5%) findet man bei Artischocken, Puffbohnen, grünen Bohnen, Porree, Spinat und Tomaten. Durch Oxidation kann aus dem Lignin Vanillin gewonnen werden. Der eßbare Anteil der Pflanzen besteht hauptsächlich aus dünnwandigen isodiametrischen Parenchymzellen.

In Pflanzenfasern ist der Anteil an Cellulose besonders hoch. Die Celluloseketten lagern sich meistens zu Fibrillen zusammen. Cellulose löst sich nicht in Wasser und ist für den Menschen unverdaulich. Die Cellulosefasern sind dicht parallel gepackt. Etwa 1000–10000 β -D-Glucose-Moleküle bilden ein Cellulosemolekül. Hohe Gehalte kommen in Artischocken (3%), Puffbohnen (3,8%), Rosenkohl (1,4%), Grünen Bohnen (1,4%), Schwarzen Johannisbeeren (1,5%), Stachelbeeren (1,2%), Grünkohl (1,5%), Rhabarber (1,3%), Knollensellerie (1,4%) vor, sonst liegen die Gehalte meist unter 1%.

Die Hemicellulosen kommen vergesellschaftet mit der Cellulose vor und sind heterogen aufgebaut. Hauptbestandteile dieses Polysaccharids sind Hexosen (Mannose, Galactose), Pentosen (Xylan, Araban) und Uronsäuren (D-Glucuronsäuren). Hemicellulosen sind im Gemüse bis zu etwa 0,3%, Hexosane und Pentosane sind dabei in unterschiedlichen Anteilen vertreten.

Xylane, die aus β -1,4-verknüpfte Xylose aufgebaut sind und Arabinoxylane, die aus Arabinose über eine α -1,3-Bindung mit der Hauptkette verknüpft sind, sind die bedeutenden Moleküle bei Monocotyledonen (einkeimblättrige Bedecktsamer wie Zwiebeln, Knoblauch, Schnittlauch, Spargel, Hafer, Weizen, Roggen, Gerste. Bei Gräsern treten die β -Glucane in größeren Mengen auf, die eine β -1,3-Bindung und Anteile von β -1,4-verknüpften Glycopyranosylresten enthalten), die mit der Cellulose der Zellwand Wasserstoffbrücken bilden und so zur Verknüpfung beitragen. Bei den Dicotyledonen (zweikeimblättrige Bedecktsamer wie Kohlpflanzen, Bohnen, Erdnüsse, Erbsen, Linsen, Gurke, Kürbis, Melone, Tomate, Paprika, Auberginen, Artischocken, Schwarzwurzel) sind die

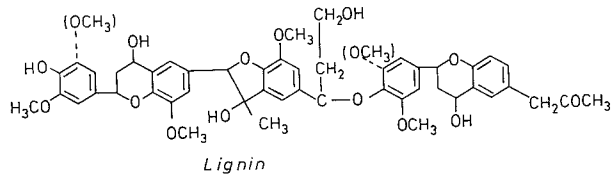


Abb. 13.2 Ausschnitt aus dem Lignin

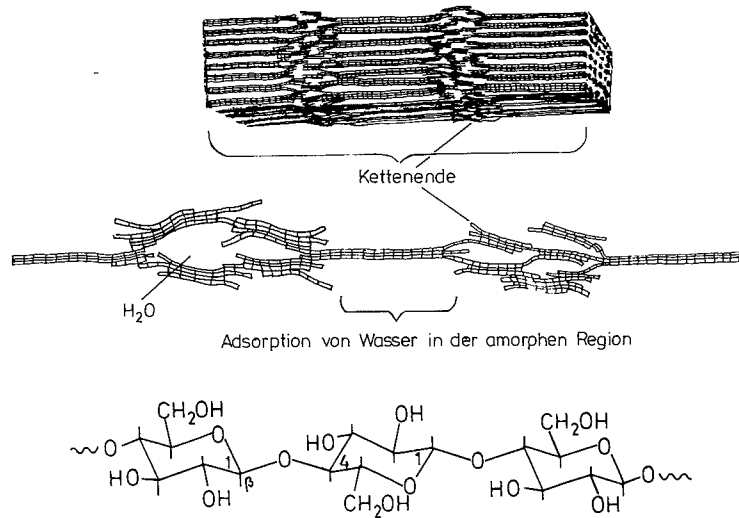


Abb. 13.3 Fibrillen und Ausschnitt aus einer Cellulosekette

Glucurono-Arabino-Xylane nicht in der Lage, Brücken zur Cellulose aufzubauen. Dieses übernehmen die Xyloglucane. Die Pektine machen bei den Dicotyledonen jedoch die Hauptmasse der Zellwand aus. Homoglucan, das aus β -1,3-verbundener Glucose aufgebaut ist, wird als Kallose bezeichnet.

Sekundärwände, die wesentlich mehr Cellulose enthalten als die Primärwände, treten bei eßbaren Pflanzenteilen kaum auf. Die Pektine sind für eßbare Früchte, Knollen und Stengel die bedeutendste Gerüstsubstanz. Pektine enthalten als Baustein hauptsächlich D-Galacturonsäure, deren Carboxylgruppe noch teilweise mit Methanol verestert ist. Im

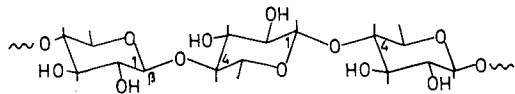
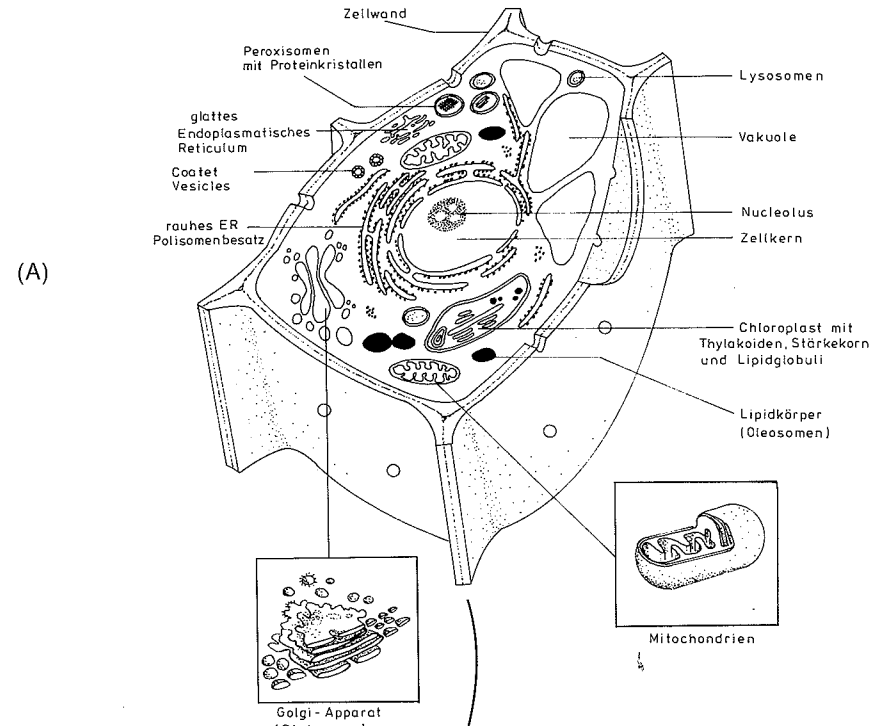
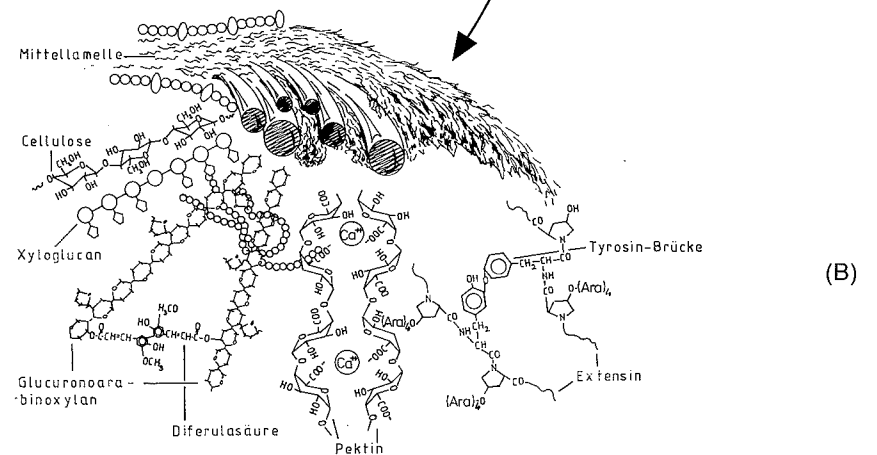


Abb. 13.4 Ausschnitt aus einer Xylankette



(A)



(B)

Abb. 13.1 Pflanzliche Zelle (A) mit Strukturbestandteilen der Zellwand (B) (z.T. nach NEVIS, 1988)

β-Eliminierungsreaktion

Polysaccharide sind u. a. alkalisch stabil, nicht hingegen die Pektine, welche im alkalischen Milieu schon bei Raumtemperatur in kleine Bruchstücke gespalten werden können. Die Spaltung der Glycosidbindung erfolgt durch eine β-Eliminierung, wobei eine Doppelbindung zwischen C₄ und C₅ entsteht. Diese Eliminierung erfolgt nur bei veresterten Carboxylgruppen, weil das Wasserstoffatom am C₅ acider ist und sich besser abspalten läßt. Durch das Hydroxylieren wird das H₅-Atom abgetrennt, wobei sich ein Carbanion bildet, durch die Ausbildung der Doppelbindung stabilisiert sich das Molekül. Die Folge ist, daß die Glycosidbindung gespalten wird (siehe dazu Abb. 13.6).

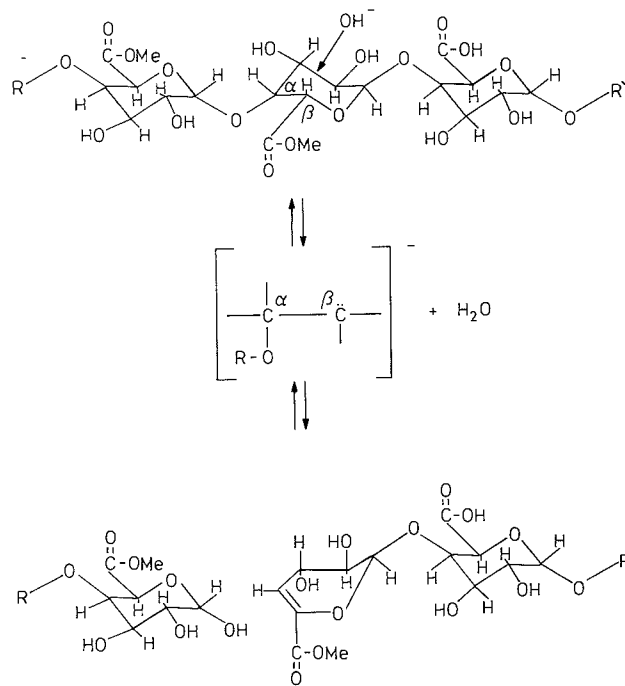


Abb. 13.6 β-Eliminierung in der Pektinkette
Calcium-, Magnesium- und Kaliumionen, sowie Citrat, Phytat und Chlorid stimulieren bei einem pH von 6,1 und bei Kochtemperatur die β-Eliminierung.

Neben Pektinen ist als Strukturelement das Glycoprotein Extensin vorhanden (etwa 20% der Primärwand), das folgende Struktur aufweist.

Die Extensinketten sind über eine Tyrosinbrücke vernetzt, das Protein wird dadurch unlöslich. Während der Reifungsphase akkumuliert das Extensin und trägt zur Verfestigung der Zellwand bei. Möglicherweise sind noch andere kohlenhydratbindende Proteine, wie bspw. Lektine, bei der Stabilisierung der Zellwand beteiligt. Zwischen Xyloglucan und Pektinen kann eine vorübergehende Bindung über Seitenketten aufgebaut wer-

Pflanzengewebe kommen Pektine teilweise als unlösliches Protopektin vor, dabei sind die Pektinketten sowohl durch chemische Bindungen untereinander, als auch mit anderen Gerüstsubstanzen der Zellwand verknüpft. Während der Reifung bzw. des Kochens von Gemüse und Obst wird das Protopektin in lösliches Pektin überführt. Dabei tritt eine Auflösung der Bindungen zwischen den Pektinen untereinander und der Cellulose und Hemicellulosen auf, woraus eine Erweichung des Gewebes resultiert. Tomaten sind z. B. um so fester, je höher der Gesamtpektinengehalt sowie der Ca²⁺- und Mg²⁺-Gehalt und je niedriger der Veresterungsgrad aus Carboxylgruppen ist. Pektine, die weniger als 7% Methoxylgruppen enthalten, werden als niederveresterte und mit mehr als 7% als hochveresterte Pektine bezeichnet. Wären alle Carboxylgruppen verestert, würden theoretisch 16,3% Methoxylgruppen vorliegen.

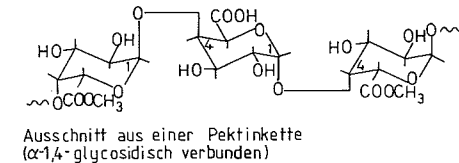


Abb. 13.5 Ausschnitt aus einer Pektinkette

Der unterschiedliche Veresterungsgrad findet sich auch bei einzelnen Gemüsearten wieder.

Tab. 13.1 Veresterungsgrad des Pektins bei verschiedenen Gemüsen (STAMOV, 1981) und Pektingehalt in Früchten

Pflanze	Veresterungsgrad (%)	Frucht	Pektingehalt als Calciumpektat (%)	Bemerkungen
Kohlrabi	59,5	Pflaumen	1,0	
Kürbis	70,1	Johannisbeeren (rot)	0,9	
Möhren	63,2	(schwarz)	1,7	
Rettich	50,1	Äpfel	0,75	
		Erdbeeren	0,53	geringe Gelbfärbung
		Himbeeren	0,53	geringe Gelbfärbung
		Kirschen	0,24	

D-Galactose, L-Arabinose und D-Xylose sind häufig in den Seitenketten vertreten. Selten kommen L-Fucose, 2-O-Methyl-D-Xylose, 2-O-Methyl-D-Fucose und D-Apiose vor. Rhamnose ist über 1,2-Bindungen in der Galacturonkette verknüpft (s. Abb. 13.10).

An den Stellen, in denen sich Rhamnose befindet, knickt die Kette ab.

Die Stabilität des Calciumkomplexes im Eierschachtelmodell der Pektine nimmt mit steigender Kettenlänge zu. Die Hydrolyse durch Säurewirkung erfolgt vorzugsweise an der Rhamnose-Glycosidbindung. Die Folge davon ist auch, daß Seitenketten, die L-Arabinofuranosyleinheiten besitzen, abgebaut werden können. Bei höheren pH-Werten werden jedoch Glycosidbindungen durch Esterbildung und β-Eliminierung gespalten.

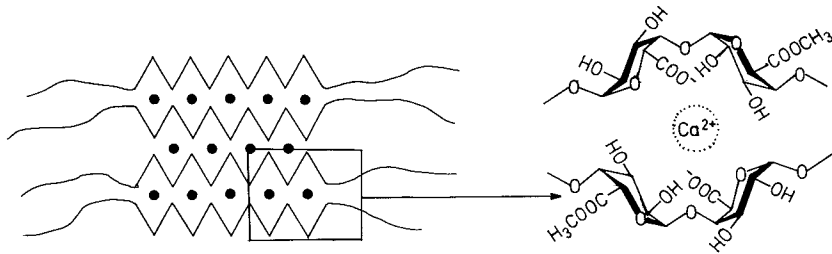


Abb. 13.8 Eierschachtelmodell der Pektine

Bei der Herstellung von Obstsäften kann durch Wirkung der Pektinmethylesterase eine große Anzahl freigelegter Carboxylgruppen mit gelösten Calciumionen reagieren und ausflocken. Dieses wird häufig bei Citrussäften beobachtet. Trübungen treten auch durch Wechselwirkungen von Pektinen mit Partikeln auf, die reich an Kohlenhydraten und Proteinen sind.

Der Abbau der Pektine erfolgt durch Pektinmethylesterase und durch Polygalacturonase z. B. während der Reifung. Die Folge ist ein Erweichen des pflanzlichen Gewebes. Die Menge des wasserlöslichen Pektins steigt, der Turgor in den Zellen nimmt ab. Beim Keimling vollzieht sich die Sprengung der Samenschale unter Mitwirkung der pektinabbauenden Enzyme. Weichfäule bei Sellerie, Karotten und Gurken beruht auf dem Abbau des Zellgefüges durch Mikroorganismen, die Pektinmethylesterase bilden. Die Pektinmethylesterase kann durch Chloridionen und durch Temperaturerniedrigung gehemmt werden. Im Protopektin liegen die Pektinketten in unterschiedlichen Vernetzungen vor, die teilweise während der Garprozesse aufgebrochen werden. Durch Säureeinwirkung (pH 3–4) werden die Kohlenhydrate freigesetzt, und es erfolgt eine Entesterung. Die Pektinmethylesterase hat ihr Aktivitätsoptimum bei pH 4–5. Bei einigen pflanzlichen Lebensmitteln haben die Pektinasen im neutralen Bereich ihr Optimum. Das Wirkungsoptimum der Pektinesterasen liegt bei höheren Pflanzen bei einem pH zwischen 7 und 9. Für grüne Bohnen gibt van BUREN et al. (1962) ein pH-Optimum von 8,2 an und ein Temperaturoptimum von 76,6 °C (LEE et al., 1979). Durch NaCl-Zusatz kann die Reaktion beschleunigt werden. HERMANN (1969) gibt für Pektinmethylesterase eine vollständige Inaktivierungstemperatur von 88 °C an. In intakten Pflanzen ist PE relativ inaktiv, bei einer Zerkleinerung wirkt sie jedoch auf die Pektine ein und es kann zu einer Verfestigung des Gewebes kommen.

PG besitzt ein Wirkungsoptimum bei pH 3,5–4,2. Für Kohlrabi wird ein Optimum bei pH 3,5 angegeben. Bei einem pH von 7–8 wird sie aktiviert, und bei Temperaturen über 75 °C denaturiert das Enzym. Je höher der Veresterungsgrad der Pektine ist, umso langsamer erfolgt der Angriff dieses Enzyms. Elektrolyte sollen diesen Abbau beschleunigen (SCHORMÜLLER, 1974).

Ein weiteres pektinspaltendes Enzym, die Pektin-Trans-Eliminase (PTE) (ALBERSHEIM et al., 1960), erzeugt ein Abbauprodukt, das eine Doppelbindung zwischen C₄ und C₅ der Galacturonsäure am nicht reduzierenden Ende ausbildet. Das pH-Optimum des Enzyms liegt zwischen 5,1 und 5,3. PTE spaltet nur methyliertes Pektin, nicht jedoch die Pektinsäure. Der Angriffspunkt der PTE erfolgt in der Kette, so daß oligomere Spaltprodukte entstehen. Weiterhin werden Seitenketten abgespalten. Die Freilegung von Carboxylgruppen

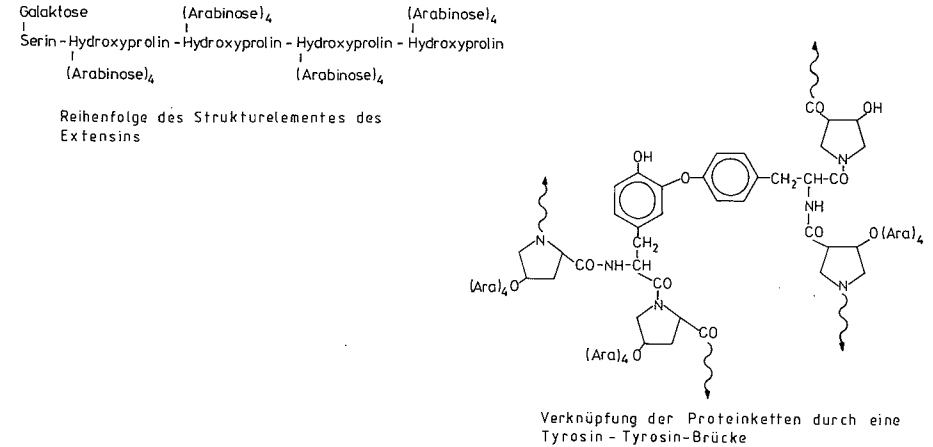


Abb. 13.7 Struktur des Extensins (aus KINDL et al., 1987)

den. Bei Pektinen besteht die Möglichkeit einer Esterbindung an der COOH-Gruppe, bei der Cellulose über H-Brücken-Bindung. Weitere Quervernetzungen finden bspw. durch oxidierbare Phenole wie die Ferulasäure statt, die über Esterbindungen mit Polysacchariden verknüpft ist, bspw. mit den Glucuroarabinoxylanen der Dikotyledonen. Durch Peroxidase in der Zellwand erfolgt eine Oxidation und Kondensation der Ferulasäure zur Diferulasäure.

13.2 Thermische und enzymatische Einwirkung auf Gerüstsubstanzen

Die Pektine können von Enzymen der Gruppe der Pektinasen in niedermolekulare lösliche Pektine abgebaut werden. Pektinesterase wirkt nur an den Methylestern und verwandelt hochveresterte Pektine in niederveresterte Pektine, in dem mit Methanol veresterte Carboxylgruppen freigelegt werden. Die Wirkung der Pektinmethylesterase kann dazu ausgenutzt werden, das pflanzliche Gewebe zu versteifen. Durch einen Blanchierprozeß bei ca. 60 °C kann die Pektinmethylesterase aktiviert werden, so daß freies Calcium mit den freigelegten Carboxylgruppen reagieren kann und die Pektinketten nach dem „Eierschachtel Modell“ verfestigt. Bekannt sind solche Vorgänge bei Tomaten, Blumenkohl, Sauerkirschen, grünen Bohnen, Äpfeln und Kartoffeln. Die Dauer für eine solche Behandlung gibt man bei Kartoffeln mit 3–24 Stunden an. Die Temperaturstabilität der Pektinasen Polygalacturonase (PG) und Pektinmethylesterase (PE) ermöglicht eine Aktivierung der PE bei gleichzeitiger Inaktivierung der PG. Der Temperaturbereich ist jedoch sehr eng, so daß die PG aus Zitrone nach 12 Minuten und die PE nach 43 Minuten bei 82 °C inaktiviert wird. Diese, auf Pektine einwirkenden Enzyme, sind bei der Fermentation von Kakao und Kaffee sowie bei der Edelfäule von Weintrauben beteiligt.

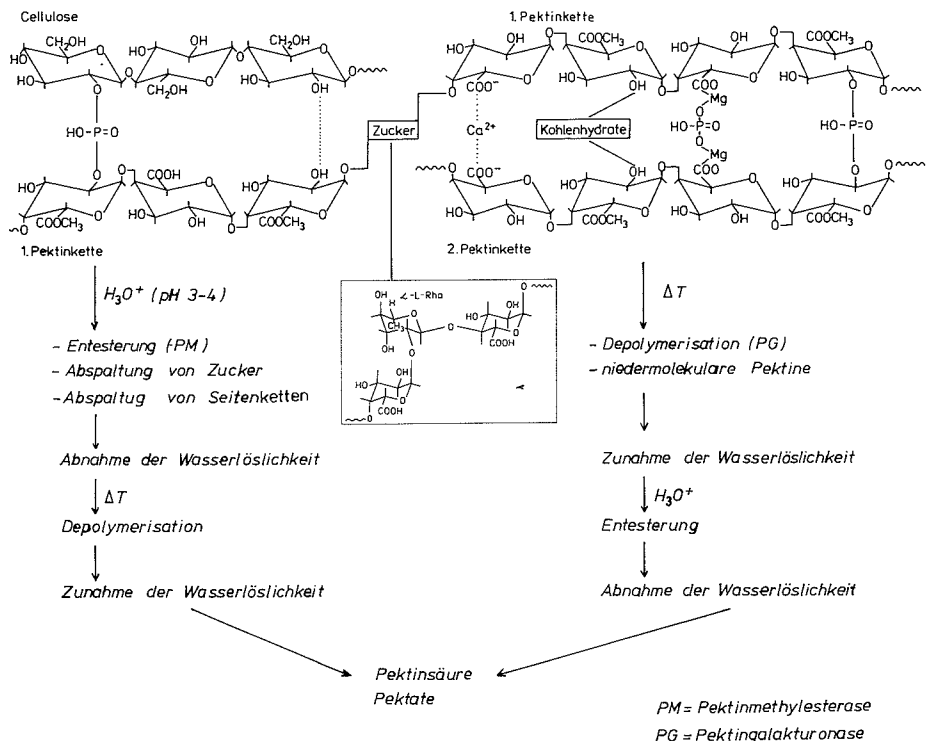


Abb. 13.10 Abbau von Protopektin zu löslichen Pektinen (z. T. nach GIERSCHNER, 1985)

und auch die granulären Partikel der Zellen vergrößern sich. Bei grünen Bohnen wurden ähnliche Zusammenhänge von GROTHE und FROMME (1984) festgestellt. Bei Spargel ist durch Mikrowellengaren ein Aufreißen des Parenchymgewebes festgestellt worden, wobei die in der Nähe liegenden Zellen zerstört wurden, was bei konventionell gekochtem Spargel nicht beobachtet wurde. (HABER und HABERS, 1989). Die Zellwanddicke nimmt etwa um 150-200% zu, und die einzelnen Zellen beginnen sich voneinander zu lösen.

13.2.2 Gefrierprozesse

Durch das Gefrieren wird die Semipermeabilität zerstört, und der Turgor geht verloren. Ist die Zellwand flexibel, so vermindert sich das Zellvolumen. Zuerst tritt der Gefrierprozeß in den Interzellularräumen auf. Er liegt zwischen -1°C (Stangenbohne, Rote Beete) und -3°C (Zwiebel) bei einer Gefriertrate von $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Das Zellinnere gefriert etwa bei $1-2^\circ\text{C}$ niedrigeren Temperaturen (REID, 1980). nach dem Gefrieren des interzellulären Wassers sinkt der Dampfdruck in den Interzellularen und mehr Wasser diffundiert aus der Zelle zu

pen hat einen verfestigenden Effekt auf das Gewebe. Durch Temperatureinwirkung erfolgt eine Depolymerisation zu niedermolekularen Pektinen, welches mit einer Zunahme der Wasserlöslichkeit einhergeht. Die Polygalacturonase (PG) hat hier einen wesentlichen Anteil. Gebildete Calciumpektate sollen jedoch weitgehend resistent gegen PG sein. Pektinasen (aus Pilzen) sind bei pH 4 am thermostabilsten und verlieren zwischen 60 und 70°C ihre Aktivität. Bei der Fermentation von Gurken wird das unlösliche Protopektin teilweise gelöst. Bei Zusatz von CaCl_2 vermindert man die Solubilisierung des unlöslichen Protopektins, ebenso wie durch hohe Kochsalzzugaben (über 10%). Der Zusatz von Salz beim Kochen führt zu einem weicheren Gemüse. 2-wertige Ionen führen jedoch zu weiter erhöhter Festigkeit. Für Mohrrüben ist ein festigender Einfluß durch Saccharose beschrieben. 1-wertige Ionen führen zu einem Ionenaustausch, weil Calcium und Magnesium aus den Pektinen herausgedrängt werden. Weiterhin wird eine Aktivierung der β -Eliminierung diskutiert. Der festigende Einfluß der Saccharose ist auf eine osmotische Dehydratation zurückzuführen. Calciumchloridzusätze bei Apfelstücken für Tortenstücke sind durchaus üblich und führen zu einer Festigung des Gewebes.

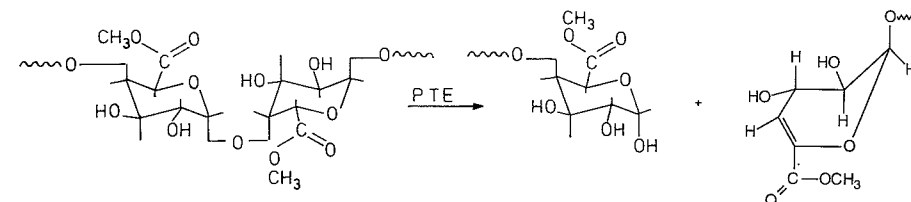


Abb. 13.9 Spaltung der Pektinkette durch PTE

Bei niedrigen pH-Werten der Garflüssigkeit nimmt die Festigkeit ab, weil eine Hydrolyse der Glycosidbindung erfolgt. Im neutralen Bereich ist die Erweichung vorwiegend auf die β -Eliminierung zurückzuführen. Die Temperaturführung ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung, so ist die Festigkeit beim Blanchierprozeß von Bohnen bei einem Temperaturbereich von $65,5-76,6^\circ\text{C}$ weitgehend konstant. Mit steigender Temperatur nimmt aber die Festigkeit (bis 93°C) ab. Chlorogensäure hemmt die β -Galactosidase des „Golden Delicious“, wodurch ein Weichwerden durch Pektinabbau verzögert wird.

13.2.1 Thermisch induzierte Strukturveränderungen

Im Parenchymgewebe von frischem Obst und Gemüse sind die Interzellularräume mit Luft gefüllt. Durch die Hitze dehnt sich die Luft aus und am angeschnittenen Gewebe kann die Luft entweichen. Durch das Erhitzen erweichen die Zellwände und Zellsaft dringt in die Interzellularräume ein.

Die Zellmembran, die eine Barriere zum Zellinhalt und zur Zellwand bildet, wird durchlässig, und durch eine β -Eliminierung werden die Pektinketten abgebaut, eine Lockerung des Zellgefüges ist die Folge. Bei Möhren wird nach dem Blanchieren eine dickere Zellwand beobachtet als im rohem Zustand, wobei sich die Zellwände scheinbar um die Mittellamelle lösen. Bei gekochtem Gemüse sind noch dickere Zellwände zu beobachten,

den interzellulären Eiskristallen. Der Wasserverlust führt zu einem Anstieg der gelösten Substanzen in der Zellflüssigkeit, wodurch der Dampfdruck und der Gefrierpunkt erniedrigt werden. Wenn die Temperatur im Zellinneren schnell den Gefrierpunkt erreicht, ohne daß ein Wasserverlust in die Interzellularräume erfolgt, beginnt die Eis-Kristallbildung auch im Inneren der Zelle. Während des Blanchierprozesses wird die Luft aus den Interzellularräumen ausgetrieben, der freie Raum füllt sich mit Zellsaft, so daß beim Gefrieren eine Eiskristallbildung im gesamten Gewebe stattfindet. Ist der Stärkeanteil hoch und bestimmend für die Textur, z.B. bei der Erbse, so treten kaum Veränderungen während des Gefrierprozesses auf. Die Plastiden, Zellkerne und das Plasmalemma werden während des Gefrier- und Auftauprozesses kaum verändert. Der Tonoplast, die Mitochondrien, das endoplasmatische Reticulum, die Ribosomen und die Golgiapparate werden leichter angegriffen.

13.2.3 Trocknen und Rehydratisieren

Getrocknete und rehydratisierte Gewebe zeigen wesentlich dickere Zellwände und größere Interzellularräume auf. Das Zellinnere ist mit denaturiertem Cytoplasma angefüllt, das bei der Rehydratisierung verklumpt und nicht mehr im Bereich der Zellwand lokalisiert ist. Rehydratisiertes Gewebe besitzt häufig ein größeres Volumen als gekochtes oder rohes Gewebe. Durch den Wasserverlust ist der Anteil der kristallinen Cellulose vergrößert und führt dazu, daß die Garzeit des getrockneten Gemüses verlängert wird, weil durch die kristalline Cellulose die Wasseraufnahme nur langsamer erfolgen kann. Das Blanchieren vor der Trocknung beeinflusst die Rehydratation positiv, da die Kristallisation der Cellulose während des Trocknungsprozesses vermindert wird und dadurch eine bessere Wasseraufnahme erfolgt.

Für die Festigkeit (z. B. knackige Salate) von pflanzlichen Geweben ist der Druck des Zellsaftes (Turgor) neben den Gerüstsubstanzen verantwortlich. Bei Wasserverlust erschlafft das Gewebe. Beim Ablauf des Garprozesses wird die Zellmembran durch Denaturierung der Membranproteine für Wasser durchlässig, und es tritt aus. Beim Blanchieren von Salat oder Spinat dürfte dieses der bedeutendste Effekt sein. Während die Cellulose in der Zellwand bei Garungsprozessen weitgehend inert ist, gehen teilweise Hemicellulosen in Lösung. Die Festigkeit von Obst und Gemüse sowie die davon abhängigen Verarbeitungseigenschaften werden weitgehend durch die vorherrschenden Gewebetypen bestimmt, z. B. besitzen Wurzelgemüse als „Herzstück“ einen harten, heller gefärbten zentralen Holzteil, der von zartem Bastgewebe umgeben wird. Bei den Früchten führt die Entwicklung der einzelnen Fruchtwandschichten (Endokarp, Mesokarp, Exokarp) zu den unterschiedlichen Fruchttypen, wie Steinfrucht (verholztes Endokarp), Beerenfrüchte (alle Fruchtwandschichten sind fleischig), Nußfrüchte (sämtliche Fruchtwandschichten sind verholzt).

Durch Gefrierprozesse ist eine Abnahme der Festigkeit durch Kristallwachstum feststellbar. Aufgrund der Permeabilitätseigenschaften kann es während des Gefrierens zu einem Austritt von Zellsaft in die Interzellularräume kommen. Der Prozeß führt bei niedrigen Einfriergeschwindigkeiten zu großen Kristallen außerhalb der Zelle, wodurch das Zellgefüge gelockert werden kann. Während des Auftauprozesses führt eine geringere Wasserwiederaufnahme der Zelle zu einem schwammigen Gewebe.

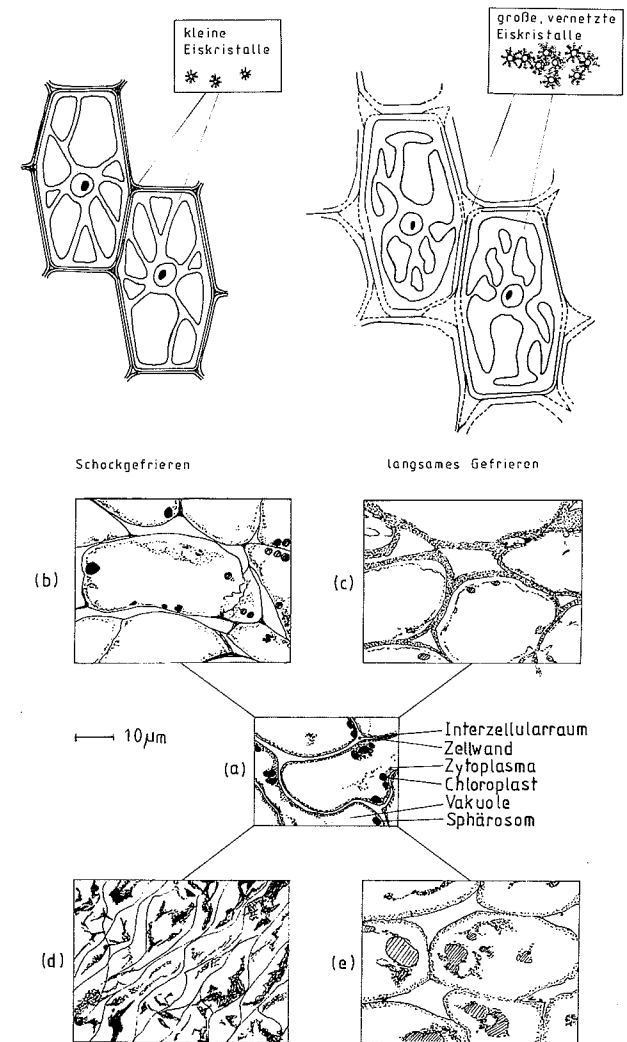


Abb. 13.11 Kristallgröße beim Einfrieren von Gemüse und Veränderung der Mikrostruktur pflanzlichen Gewebes

- Rohes Gemüse (Karotte) mit den Zellorganellen im Bereich der Zellwand
- Blanchiertes Gemüse, Beginn der Lösung der Zellorganellen von der Zellwand und leichte Vergrößerung der Interzellularräume
- Gekochtes Gemüse mit verdickten Zellwänden und größeren Interzellularräumen. Lösung der Zellorganellen von der Zellwand
- Getrocknetes Gemüse mit Zusammenballung von Zellbestandteilen
- Rehydratisiertes Gemüse mit Zusammenballung der Zellorganellen im mittleren Bereich der Zellen

13.2.4 Geliereigenschaften von isolierten Pektinen

Es bestehen zwei Möglichkeiten der Gelbildung. Bei hochveresterten Pektinen muß der pH-Wert auf ca. 3 eingestellt werden, es sind nur wenig freie Carboxylgruppen vorhanden, die bei diesem pH-Wert dissoziiert sind; somit ist die Abstoßung aufgrund negativer Ladung gering. Durch einen hohen Saccharosezusatz von 55–70% verringert sich die Anlagerung des Wassers an das Pektin, so daß van-der Waal'sche Kräfte zwischen den Pektinketten aufgebaut werden, die dann vernetzen und ein Gel ausbilden können. Rezeptur für Gelierzucker mit hochveresterten Pektinen:

Haushaltszucker mit einem Zusatz von

hochverestertes Pektin	0,4–1,3%
Weinsäure	0,4–0,7%
oder Citronensäure	0,6–0,9%

Bei niederveresterten Pektinen können durch Calciumionen zwischen OH-Gruppen und Carboxylgruppen Chelatverbindungen aufgebaut werden, die dann zu einer Verfestigung des Gels führen. Der pH-Wert sollte bei ca. 6,5 liegen, damit die Carboxylgruppen dissoziiert sind. Zucker ist für solch ein Gel nicht erforderlich, es können daher kalorienarme Konfitüren hergestellt werden. Schwierigkeiten bei der Herstellung treten auf, wenn zu schnell Pektin zugeführt wird, und es zur Ausfällung von Calciumpektat kommt. Daher müssen die Calciumionen nur langsam an das Pektin gelangen, was bspw. durch Zusätze von schwerlöslichen Calciumsalzen wie Citrate und Tartrate erreicht werden kann. Während dieses Vorgangs wird das Calcium nur langsam durch Ionenaustausch aus diesen Verbindungen freigesetzt.

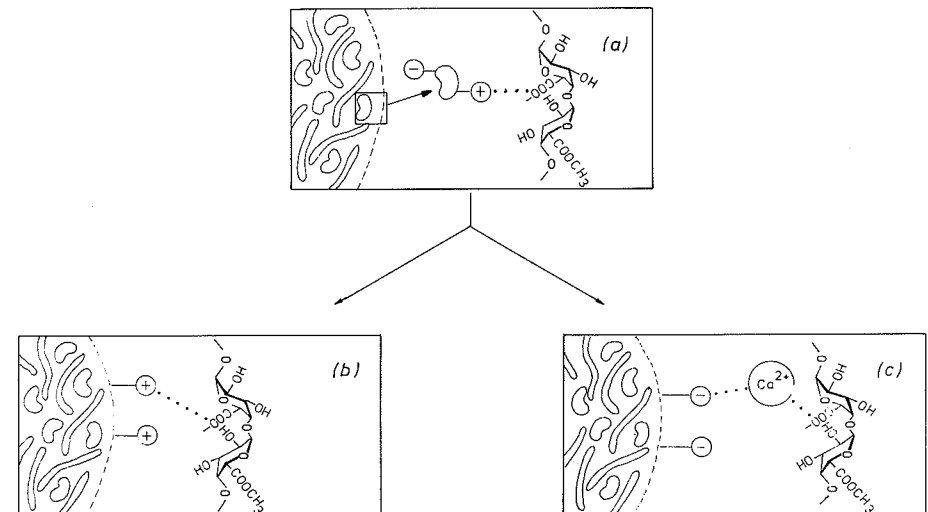


Abb. 13.12 Bildung ionischer Wechselwirkungen der Caseinmicelle mit Pektinen