

## Zetmeel en zetmeelderivaten

*door dr.ir. Astrid van de Graaf,  
wetenschapsjournalist*

Deze Chemische Feitelijheid is geschreven in samenwerking met drs. Bert Franke, Avebe, Postbus 15, 9640 AA Veendam.  
tel. 0598 664 231, e-mail: frankeb@avebe.com

1.	Inleiding	197- 3
2.	Structuur en vorm	197- 3
2.1	Glucose-eenheid	197- 3
2.2	Amylose en amylopectine	197- 4
2.3	Korrelvorm	197- 6
3.	Zetmeelbronnen	197- 8
4.	Fysische en chemische eigenschappen	197- 9
4.1	Moleculaire kengetallen	197- 9
4.2	Oplosbaarheid en viscositeit	197- 9
4.3	Retrogradatie en geling	197- 11
4.4	Het karakter van zetmeel	197- 12
5.	Modificatie van zetmeel	197- 13
5.1	Warmtebehandeling	197- 13
5.2	Depolymerisatie	197- 14
5.3	Substitutie	197- 14
5.4	Crosslinking	197- 15
6.	Toepassingen	197- 16
7.	Gezondheidsaspecten	197- 18
8.	Milieu- en veiligheidsaspecten	197- 19
9.	Literatuur en websites	197- 20

## 1. Inleiding

Of het nu gaat om het plakken van postzegels en behang, het binden van sauzen en soepen of het produceren van papier en textiel, één ding hebben ze gemeen: er komt op een of andere manier zetmeel aan te pas. Maar elke toepassing stelt specifieke eisen. Een brief wil je niet eerst een paar uur laten drogen voor die op de post kan, terwijl een behanger nog graag even de strook papier verschuift om die op zijn plek te krijgen.

Voor de meeste toepassingen moet natuurlijk (of natief) zetmeel worden bewerkt tot een zetmeelproduct met de gewenste eigenschappen voor de specifieke toepassing. Na bewerking van natief zetmeel wordt gesproken van *gemodificeerd* zetmeel. In ons land produceert Avebe, één van de producenten, ongeveer zeshonderd verschillende zetmeelproducten. De basisgrondstof is zetmeel afkomstig uit zaden, bollen of knollen van planten, met name aardappelen, maïs, tarwe en tapioca.

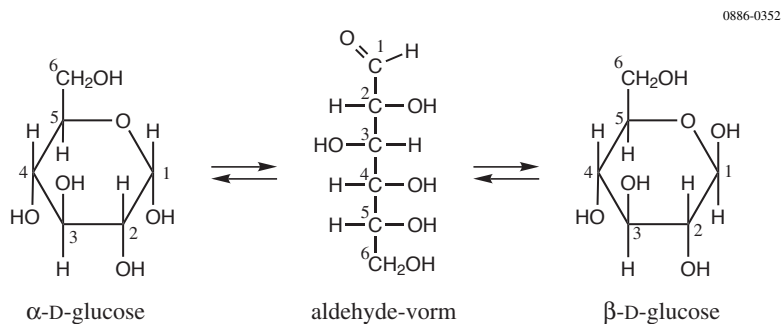
## 2. Structuur en vorm

Zetmeel is een biopolymeer koolhydraat opgebouwd uit glucose-eenheden met als brutoformule  $(C_6H_{10}O_5)_n$

### 2.1 Glucose-eenheden

Zetmeel bestaat uit lange ketens van  $\alpha$ -glucose-eenheden en is na cel-lulose, dat bestaat uit  $\beta$ -glucose-eenheden, het meest voorkomende natuurlijke polymeer (biopolymeer). In beide biopolymeren komt glucose voor in de ringvormige structuur die stabiel is dan de lineaire structuur. Beide ringstructuren ontstaan vanuit de lineaire structuur (zie Figuur 1).

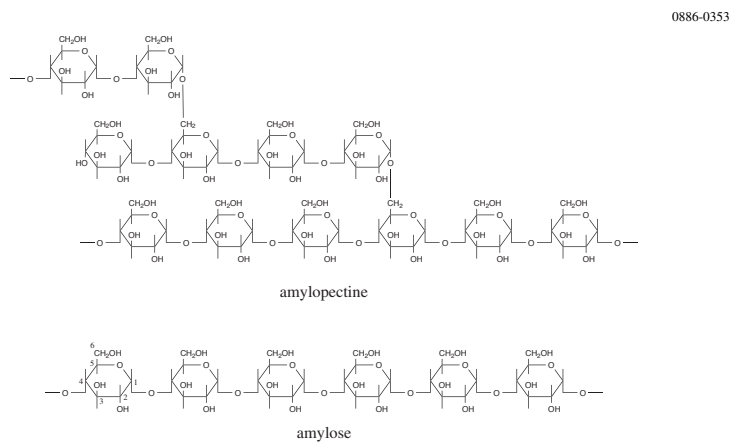
197-4 Zetmeel



*Figuur 1. De lineaire en ringvormige structuren van glucose. De koolstofatomen in glucose worden altijd op dezelfde manier genummerd: C1 t/m C6.*

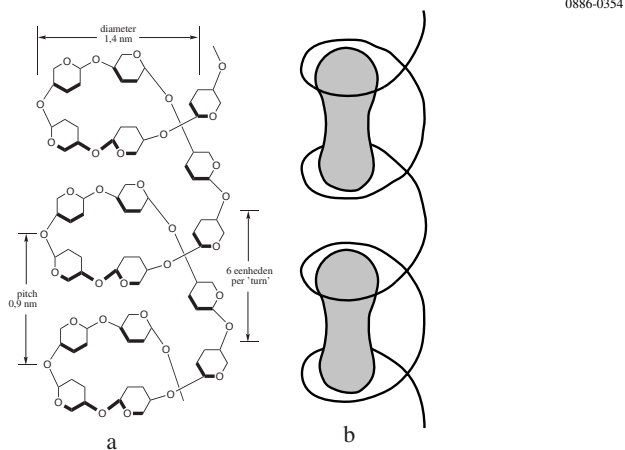
2.2 Amylose en amylopectine

Zetmeel kent twee verschillende chemische vormen: amylose en amylopectine (zie Figuur 2).



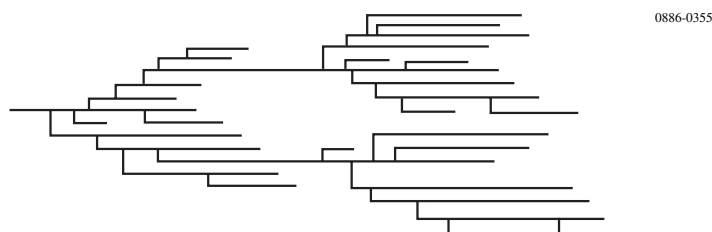
*Figuur 2. De structuren van amylose (lineair glucoseketen) en amylopectine (vertakte glucoseketen).*

Amylose is een (1,4) poly- $\alpha$ -glucose omdat de glucose-eenheden verbonden zijn via de C1 van de éne glucose-eenheid en de C4 van de andere. Een dergelijke glucosidische binding (C-O-C) is stabiel in een basisch milieu. Zuur verbreekt de binding. Amylose is geen starre rechte keten maar vormt een spiraal waarbij de OH-groepen van glucose naar buiten wijzen en de binnenkant apolair is (zie ook Chemische Feitelikheden 195 'Cyclodextrines'). Apolaire verbindingen, bijvoorbeeld jodium ( $I_2$ ), voelen zich hierin thuis (zie Figuur 3).



Figuur 3. a) Amylose als spiraal en b) jodium/amylose complex.

Vanwege de intens blauwe kleur van het jodium/amylose-complex wordt jodium gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van amylose. n-Butanol vormt een onoplosbaar complex met amylose en is daarom geschikt om amylose en amylopectine van elkaar te scheiden. In amylopectine komen naast de (1,4)-ketens ook (1,6)-bindingen voor die voor de vertakte boomvorm zorgen. Ongeveer 1 op de 20 glucose-eenheden heeft zo'n vertakking. De lineaire ketens variëren in lengte van 10 tot 60 eenheden met een gemiddelde lengte van 22. De meest gangbare totaalstructuur voor amylopectine is het clustermodel (zie Figuur 4).



Figuur 4. Het clustermodel van amylopectine.

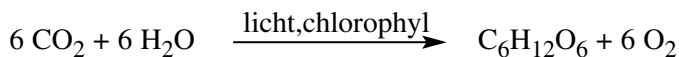
De verhouding amylose/amylopectine in zetmeel verschilt per plantensoort. De granen bezitten een iets hoger percentage amylose dan de knol- en wortelgewassen. De meeste planten bevatten zetmeel met een amylose/amylopectine verhouding van circa 1/3, maar er zijn ook soorten die amylosegehalten van 50% of meer bezitten. Een bijzondere variant is 'waxy' maïs, een maïsplant die helemaal geen amylose bevat. Deze variant is door veredeling verkregen. Voor veel industriële toepassingen is de aanwezigheid van amylose ongewenst, omdat deze lineaire glucoseketen klontert bij oplossen in water. Avebe heeft met behulp van genetische modificatie ook een 'waxy' aardappel ontwikkeld: de amylopectine-aardappel.

Tabel 1. Verhouding amylose/ amylopectine in een aantal zetmeelbronnen (%)

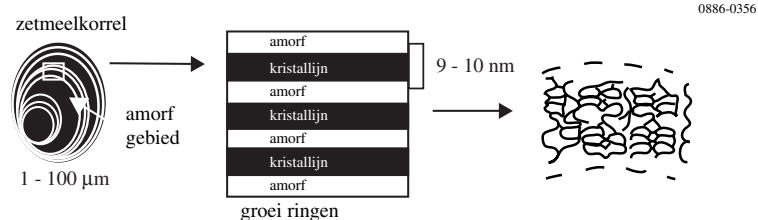
bron	amylose	amylopectine	amylose/amylopectine
aardappelen	21	79	1/4
maïs	28	72	1/3
tarwe	26	74	1/3
tapioca (cassave)	17	83	1/5
waxy maïs	0	100	

### 2.3 Korrelvorm

Groene planten maken onder invloed van zonlicht glucose en zuurstof uit water en koolstofdioxide, de fotosynthese:

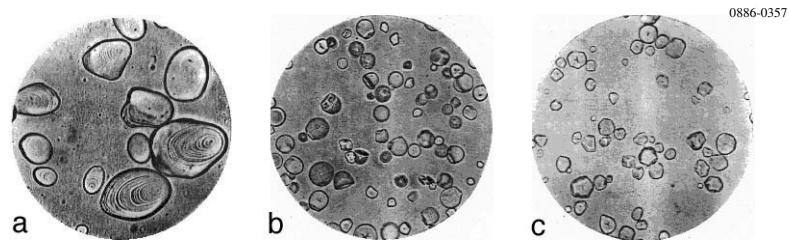


De hierbij gevormde glucose wordt opgeslagen en bewaard in de vorm van zetmeel. Het dient als belangrijkste reservevoedselbron voor de plant. Bij de opslag ontstaan zetmeelkorrels die voor iedere plant een karakteristieke vorm en grootte hebben. De vorming van een korrel start vanuit een minuscule hoeveelheid samengeklonterd zetmeel: het hilum. Om deze kern groeien afwisselend kristallijne en amorfe ringen. De kristallijne gebieden bestaan geheel uit amylopectine en geven de korrel stevigheid en een duidelijk herkenbare structuur. In de amorfe gebieden bevinden zich zowel amylose als amylopectine.



Figuur 5. Zetmeelkorrel met ringen amorf en kristalijn zetmeel.

Bij de industriële verwerking wordt zetmeel uit plantencellen gewonnen in de vorm van kleine korrels. Aan de hand van korrelvorm en -grootte is te achterhalen uit welke plant het zetmeel afkomstig is (zie Figuur 6). Aardappelzetmeel heeft de grootste korrels van gemiddeld 40 µm en zijn ovaalvormig; maïskorrels zijn een stuk kleiner, zo'n 15 µm, en zijn wat ronder en polygonaal van vorm. Tarwekorrels zijn gemiddeld 25 µm en lensvormig.



Figuur 6. Zetmeel afkomstig uit a) aardappel, b) tapioca en c) maïs.

### 3. Zetmeelbronnen

Planten met zetmeel als reservevoedselbronnen slaan het of ondergronds op in knollen (bv. aardappelen) en wortels (bv. cassave ofwel tapioca), of bovengronds in zaden (bv. maïs en tarwe). Naast zetmeel bevatten de knollen, wortels en zaden ook andere stoffen zoals water, eiwitten, vetten, vezels en kleine hoeveelheden wateroplosbare zouten en mineralen.

Tabel 2. Samenstelling van de belangrijkste zetmeelbronnen (in %)

bron	zetmeel	vocht	eiwitten	vetten	vezels	rest	zetmeel*
aardappelen	17	78	2	0,1	1	1,9	77
cassave	26	66	1	0,3	1	5,7	77
maïs	60	16	9	4	2	9	71
waxy maïs	57	20	11	5	2	5	71
tarwe	64	14	13	2	3	4	74

\* percentage zetmeel op basis van droge stofgehalte.

De knol- en wortelzetmelen worden relatief snel na de oogst gewonnen omdat het zetmeel anders te veel versuikert of de knollen gaan rotten. Granen hebben een veel lager vochtgehalte, waardoor de snelheid van zetmeelwinning daar minder gevoelig ligt. Elke plantensoort levert een zetmeel met zeer specifieke eigenschappen. De ene zetmeelsoort vormt in water een viskeuze en heldere, stabiele suspensie, terwijl de ander nauwelijks oplost of een troebele, zeer fijn verdeelde oplossing geeft.

Maïs is in de wereld de belangrijkste bron voor zetmeel.

Tabel 3. Wereldproductie aan zetmeel

bron	productie (M ton)
maïs	44,7
cassave	5,2
tarwe	3,8
aardappel	2,4
overige (zoals grassen, rijst en vruchten)	0,8

Avebe, een coöperatie van aardappelzetmeelbedrijven, produceert in Nederland bijna een kwart van de wereldhoeveelheid aardappelzetmeel: zo'n 550.000 ton uit aardappelen van eigen bodem.

## 4. Fysische en chemische eigenschappen

### 4.1 Moleculaire kengetallen

De ketenlengte en samenstelling van de biopolymeren in zetmeel vertonen onderling nogal wat verschillen en daarom heeft zetmeel, net als alle polymeren, een *gemiddelde* molmassa. Omdat de bepaling van de molecuulmassa een lastig karwei is –zetmeel is moeilijk in oplossing te krijgen zonder dat tegelijkertijd de ketens afbreken tot kortere lengtes– geeft de literatuur een grote spreiding in deze waarde. De waarden van recent uitgevoerd onderzoek staan in Tabel 4. Een ander moleculair kengetal is de giratiestraal, een maat voor de afmeting van het molecuul: de gemiddelde afstand van de rand van het polymeer tot het massamiddelpunt.

Tabel 4 Moleculaire kengetallen van enkele zetmelen

Bron	<sup>1</sup> Mw zetmeel (miljoen u)	Mw amylose (miljoen u)	Mw amylopectine (miljoen u)	<sup>2</sup> Rg (nm) amylose	Rg (nm) amylo- pectine	Vertakking per molecuul	Glucose- eenheden per vertakking
waxy maïs	77	-	77	-	234	940	505
maïs	88	0,4	112	19	213	2800	248
amylomaïs	17	1,5	69	60	238	560	759
aardappelen	51	0,8-1,5	61	32	224	565	665

<sup>1</sup>Mw = molecuulgewicht in miljoenen u (1 u = 1.66057·10<sup>-27</sup>kg) <sup>2</sup>Rg = giratiestraal

### 4.2 Oplosbaarheid en viscositeit

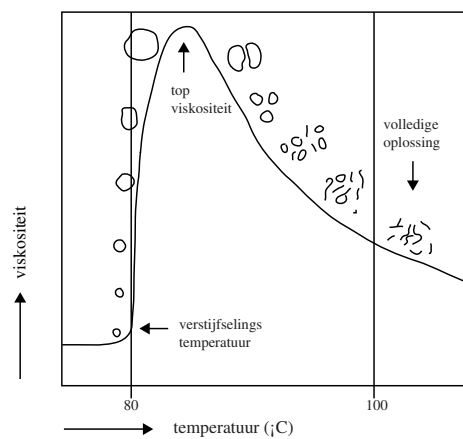
Een zetmeelkorrel zit stevig in elkaar. De grote mate van ordening en kristallijne gebieden, gepaard met waterstofbruggen (H-bruggen) tussen de vele hydroxylgroepen onderling, maakt dat zetmeel niet oplost in koud water. De korrel kan wel koud water opnemen, zo'n 35% op gewichtsbasis. Daarbij blijft de ordening ongemoeid en het proces is



reversibel. Pas bij verwarming neemt de korrel veel water op en zwelt aanzienlijk, alleen dan verbreken de stevige waterstofbruggen. Aardappelzetmeel is een superzweller en neemt maar liefst 1000 maal in volume toe. De andere soorten zwellen tot slechts 20 tot 80 maal het beginvolume.

Het zwellen en oplossen van zetmeelkorrels in water worden weergegeven in een verstijfselingscurve (zie Figuur 7). Tijdens het verwarmen neemt eerst het amylose in de zetmeelkorrel water op waardoor de korrels zwellen en de suspensie stroperig wordt. Vervolgens neemt amylopectine water op. De korrel zwelt verder en verliest definitief zijn structuur en stevigheid. Rond dit punt is de viscositeit maximaal, want de oplossing bestaat vrijwel hoofdzakelijk uit zeer sterk gezwollen samenhangende korrels. Bij verder verwarmen en roeren gaan de zetmeelkorrels kapot. De moleculen lossen nu afzonderlijk op in water. De viscositeit neemt weer af en er ontstaat een heldere oplossing. Bij afkoelen treden (afhankelijk van afkoelsnelheid, concentratie en samenstelling van het zetmeel) gelvorming en retrogradatie op.

De verstijfselingscurve verschilt per zetmeelsoort en hangt af van de kristalstructuur en van de aanwezigheid van fosfaatgroepen en vet. De temperatuur waarbij de viscositeit merkbaar toeneemt is de ver-



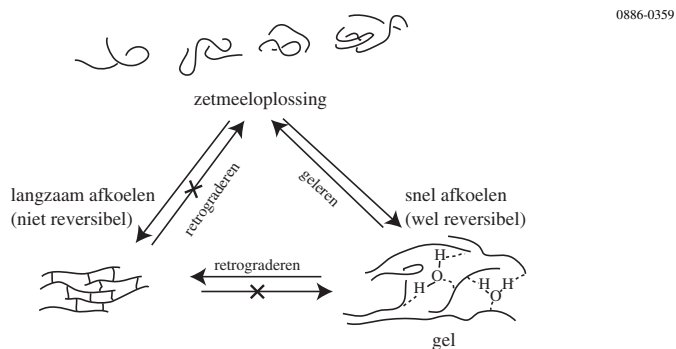
*Figuur 7. De verstijfselingscurve: een schematische weergave van het zwellen en oplossen van zetmeelkorrels in water.*

stijfselingstemperatuur. Deze temperatuur, en dus ook de viscositeit van een zetmeeloplossing, hangt af van de concentratie, de ketenlengte en de vorm van het molecuul. Zo lukt het slechts met veel moeite om een oplossing van meer dan 10% (w) natief zetmeel te roeren. Door de zetmeelmoleculen af te breken tot stukken van ongeveer honderd glucose-eenheden is een 10% oplossing even viskeus als water.

### 4.3 Retrogradatie en geling

Een warme oplossing van natief zetmeel is niet stabiel. Het lineaire amylose kristalliseert bij afkoelen snel uit waarbij in de ontstane gel witte klonters (retrogradatie) worden gevormd. Retrograderen betekent letterlijk terugkeren naar de oorspronkelijke toestand en wordt bijna altijd voorafgegaan door geleren.

Door de regelmatige en onvertakte structuur kan amylose over grote delen van het molecuul waterstofbruggen (H-bruggen) vormen met andere amylosemoleculen. Als een verdunde oplossing langzaam afkoelt, krijgen de amylosemoleculen alle ruimte en tijd om naast elkaar te gaan liggen. Het netwerk dat dan ontstaat, is zeer sterk en zal niet opnieuw oplossen. Retrogradatie is nagenoeg irreversibel (zie Figuur 8). Pas bij 160 °C laten de H-bruggen weer los.

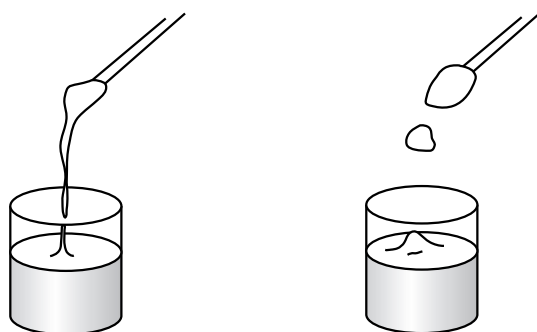


*Figuur 8. Schematische weergave van retrograderen en geleren van zetmeel vanuit een oplossing. Een ongestabiliseerde gelei kan uiteindelijk weer retrograderen, maar omgekeerd niet.*

Amylopectine geeft door zijn vertakte structuur geen klontproblemen. Een zetmeelbron zonder amylose, zoals 'waxy' maïs en aardappel, is daarom voor bepaalde toepassingen interessant. Aan de andere kant is zetmeel met een hoog amylosegehalte zeer geschikt als geleermiddel omdat er juist veel H-bruggen gevormd kunnen worden. De snelheid van afkoeling en de zetmeelconcentratie bepalen in belangrijke mate het geleergedrag. Wordt een geconcentreerde oplossing snel afgekoeld, dan 'bevrozen' de zetmeelketens als het ware in de oplossing. Er blijft veel water tussen de ketens zitten waardoor ze nauwelijks H-bruggen kunnen vormen. Hierdoor ontstaat een flexibele gel, die bij verwarming weer oplost. De gel moet nog gestabiliseerd worden anders zullen de amylosemoleculen na enige tijd toch tegen elkaar aan gaan liggen. Stabiliseren kan door de zetmeelmoleculen in een basische oplossing een beetje negatief te laden: de OH-groepen verliezen daarbij het H<sup>+</sup>-ion. De geladen moleculen stoten elkaar af waardoor het moeilijker is om een netwerk te vormen.

#### 4.4 Het karakter van zetmeel

Het gedrag van een zetmeeloplossing wordt wel beschreven in termen van 'lang karakter' en 'kort karakter' (zie Figuur 9).



*Figuur 9. Karakter van een zetmeeloplossing: 'lang karakter' (links): een heldere, goed vloeiende oplossing en 'kort karakter' (rechts): een troebele, slecht vloeiende oplossing door aanwezigheid van resten gezwollen zetmeelkorrels.*

Als natief zetmeel volledig is opgelost, stroomt het makkelijk en het vormt lange draden. Het heeft een lang karakter. De zetmeelketens zijn volledig omringd door water en bewegen langs elkaar. Als het zetmeel niet volledig is opgelost bevinden zich in de oplossing nog resten van sterk gezwollen zetmeelkorrels. De oplossing is niet helder en vloeit slecht. Deze clusters van polymeren hebben nauwelijks onderlinge interactie en het resultaat is een onsamenhangende zetmeeloplossing, zoals in behangersplaksel dat wat 'appelmoesachtig' ofwel 'kort' overkomt.

## 5. Modificatie van zetmeel

Voor de meeste toepassingen zijn de eigenschappen van natief zetmeel ongeschikt. Ongeveer 70% van de totale hoeveelheid natief zetmeel wordt daarom fysisch, chemisch of enzymatisch bewerkt tot een zetmeelderivaat met de gewenste eigenschappen. Er zijn honderden verschillende derivaten mogelijk. De meeste bewerkingen of modificaties berusten op warmtebehandeling, depolymerisatie, substitutie en crosslinking of combinaties hiervan.

Voor gebruik van zetmeel en zetmeelproducten in voedingsmiddelen en voor productie van gemodificeerd zetmeel in voedingsmiddelen gelden specifieke eisen. Deze zijn vervat in het Zetmeelbesluit, een wetgeving die deel uitmaakt van de Warenwet.

### 5.1 Warmtebehandeling

Voor een aantal toepassingen moet zetmeel direct in koud water oplosbaar zijn (instant pudding of koude sauzen). Hiervoor is instantzetmeel nodig en dat wordt gemaakt door de natieve zetmeelkorrels in water te verwarmen waarbij het zetmeel gedeeltelijk verstijfselt (zwelt). Hierna wordt het product snel gedroogd. Het eindproduct is oplosbaar in koud water en geleert dan verder. Bij deze warmtebehandeling blijft het zetmeel chemisch onveranderd.

## 5.2 Depolymerisatie

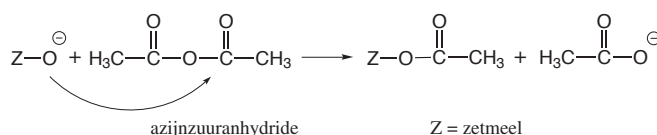
Bij depolymerisatie worden de zetmeelketens verkort. Hierdoor neemt de viscositeit af, zodat met hoge zetmeelconcentraties kan worden gewerkt. Zetmeelproducten met verkorte ketens vormen een dunne gel, maar zijn nog wel geschikt als verdikkingsmiddel bijvoorbeeld in gebonden soepen. Zetmeel kan chemisch, enzymatisch (amylase) of mechanisch (hard roeren van viskeuze oplossingen) worden afgebroken. Bij chemische afbraak (hydrolyse) van zetmeel wordt gebruik gemaakt van zoutzuur, zwavelzuur, natriumhypochloriet of waterstofperoxide om de glucosidische binding open te breken. Zure hydrolyse (zoutzuur, zwavelzuur) is de eenvoudigste methode. De afbraak is vrij willekeurig en zowel de (1,4)- als de (1,6)-glucosidische binding worden gehydrolyseerd. Door de hoeveelheid zuur, de temperatuur en de reactietijd aan te passen kan de lengte van de keten worden gecontroleerd.

## 5.3 Substitutie

Bij substitutie berust de modificatie op chemische aanpassing van de zetmeelstructuur. Een veelgebruikte chemische aanpassing is de verethering. Door een chemische behandeling wordt van enkele vrije hydroxylgroepen van de glucose-eenheden een etherbinding gemaakt. Hierdoor verandert de ruimtelijke structuur van het zetmeel, en daarmee ook de geleringseigenschappen. De gelering wordt veel sterker en, in tegenstelling tot normaal zetmeel, blijft het gel intact tijdens verhitten, invriezen en ontdooien. Dit type wordt dan ook veel gebruikt in gekoelde en ingevroren producten. Gebruik van normaal zetmeel zou een korrelig, waterig product opleveren.

Een andere substitutie is de invoering van een acetaat via verestering. De OH-groep aan het tweede koolstofatoom (C2 positie) is het meest reactief, maar in een neutrale oplossing niet reactief genoeg. Daarom wordt zetmeel eerst met natronloog (NaOH) behandeld. Hierbij wordt door de base NaOH een proton van de OH-groep verwijderd, waarna de substitutiereactie plaatsvindt met behulp van bijvoorbeeld azijnzuuranhydride (zie Figuur 10).

0886-0361



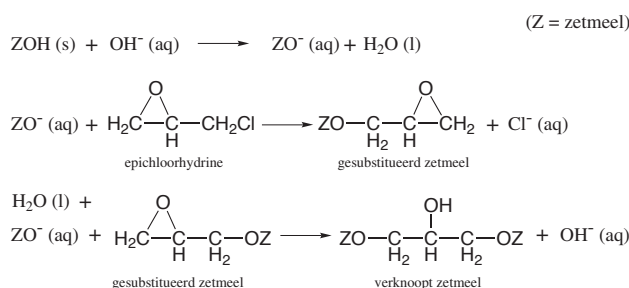
Figuur 10. Invoering van een acetaatgroep met azijnzuuranhydride.

Voor voedingsmiddelen is het gebruik van azijnzuuranhydride toegestaan. Voor de invoering van een acetaatgroep wordt ook wel vinylacetaat gebruikt, maar daarbij komt acetaldehyde (ethanal) vrij en vanwege zijn giftigheid mag deze stof niet in contact komen met voedingsmiddelen.

## 5.4 Crosslinking

Door het verknopen of crosslinken van de ketens in de zetmeelkorrel verstevigt de interne structuur aanzienlijk. Deze stevigheid is naar behoefte instelbaar. Door het verknopen kan de korrel meer water opnemen zonder dat deze oplost, en neemt de verstuifselingstemperatuur en de topviscositeit toe. Wanneer de zetmeelketens in een oplossing worden verknoot, ontstaan grote clusters. Dit netwerk van geknoopte zetmeelketens geeft een brokkelig effect van geldeeltjes die langs elkaar glijden. Een veel gebruikt verknopingsmiddel is epichloorhydrine (zie Figuur 11).

0886-0362



Figuur 11. Verknoping van zetmeel met epichloorhydrine.

Een andere stof die veel gebruikt wordt is borax: natriummetaboraat. Epichloorhydrine en borax mogen vanwege gezondheidsschade niet gebruikt worden voor zetmeelmodificatie in voedingsmiddelen. Verknoopt zetmeel is stabiel in zowel zuur als basisch milieu. De mate van verknoping kan geregeld worden door de hoeveelheid reagens, reactietijd en temperatuur.

## 6. Toepassingen

Zetmeel wordt voor veel verschillende toepassingen gebruikt. Het grootste gedeelte (70%) gaat naar zetmeelproducten voor de voedingsmiddelenindustrie. De rest wordt gebruikt voor technische toepassingen in de papier-, textiel- en kleefstoffenindustrie en in de farmacie. Relatief nieuw is het gebruik van zetmeel bij geneesmiddelen voor zogenaamde 'slow release' toepassingen, waarbij het actieve geneesmiddel heel langzaam vrijkomt. Een andere recente ontwikkeling zijn afbreekbare plastics die worden gemaakt op basis van onder andere aardappelzetmeel.

### *Voedingsmiddelen*

De voedingsmiddelenindustrie gebruikt zetmeel als verdikker in soepen en sauzen, als geleermiddel in snoep of op vruchtengebak en als vetvervanger. Maar ook als verdikker in zuivelproducten, babyvoeding, brood, vleeswaren en bier. Vóór de verdikking van voedingsmiddel wordt het zetmeel verknoopt en voorzien van acetaatgroepen. Voor gelering is de vertakte component amylopectine te stabiel. Daarom moeten deze zetmeelketens eerst afgebroken worden tot korte ketens van gemiddeld 120 glucose-eenheden en voorzien worden van acetaatgroepen. Als zetmeel in beperkte mate afgebroken is, kan het ook dienst doen als vetvervanger. Bij het oplossen ontstaan kleine vervormbare geldeeltjes die in de mond een smeulige sensatie opwekken vergelijkbaar met vet.

### *Papier*

De papierindustrie is de op één na grootste afnemer van zetmeel(derivaten). Zetmeel verbetert zowel de sterkte als de beschrijfbaarheid van papier. Om papier sterker te maken wordt aan natte houtpulp (cel-

lulosevezels) een gemodificeerde zetmeeloplossing toegevoegd die de cellulosevezels stevig aan elkaar plakt. Omdat de cellulosevezels zelf licht negatief geladen zijn, wordt hiervoor kationisch zetmeel gebruikt. Daarin zijn de zetmeelmoleculen positief geladen door een behandeling met bijvoorbeeld hydroxypropyltrimethylamoniumhydrochloride (HPTAC). Om het papier vervolgens beschrijfbaar te maken worden de poriën gevuld met een geconcentreerde zetmeeloplossing. Voor echt glad papier volgt nog een coating van calciumcarbonaat in een geconcentreerde zetmeeloplossing als bindmiddel.

#### *Kleefstoffen*

Zetmeel is terug te vinden in vele kleefstoffen zoals in postzegellijm, behangplaksel, kartonlijm en etikettenlijm. Behangplaksel is verdunde oplossingen van 2 à 3% zetmeel. Om het plaksel makkelijk te verwerken moet het een zekere viscositeit hebben: pasteus en goed smeerbaar. Een oplossing van gelijkmatig verdeelde geldeeltjes voldoet hier aan. Het natieve zetmeel wordt in oplossing verknoopt en voorzien van negatief geladen acetaatgroepen. Dit geeft een plaksel met een kort karakter als gevolg van maximale zwelling van de verknoopte clusters. De lijm die een snelle en directe plakkracht kan leveren, bijvoorbeeld voor het plakken van postzegels, heeft een zeer hoog droge stofgehalte nodig (circa 80%). Hiervoor worden de zetmeelketens in de korrels met behulp van zuur afgebroken tot korte suikermoleculen (dextrines) van enkele glucose-eenheden.

#### *Textiel*

Om snel te kunnen weven zonder draadbreek worden in de textielindustrie garens vaak tijdelijk versterkt. Dat gebeurt door de draden door een warme kleverige zetmeeloplossing (afgebroken en gecarboxymethyleerd) te trekken, waardoor het oppervlak glad wordt. Na het weven moet het versterkingsmiddel weer zo volledig mogelijk verwijderd worden om het textiel soepel te maken. Dit kan enzymatisch of door wassen met basen. Enzymen breken selectief de  $\alpha$ -(1,4)-glycosidische bindingen af en laat de  $\beta$ -(1,4)-glycosidische bindingen van cellulose ongemoeid. Door het wassen met basen wordt zowel het zetmeel als de cellulose negatief geladen en stoten ze elkaar af.



#### *Overige toepassingen*

Zetmeel wordt in de farmaceutische industrie veel gebruikt als vul- en bindmiddel. Ook wordt in tabletten soms gebruik gemaakt van het zwelvermogen van zetmeel. Door snelle en grote volumetoename van hydrofiel aardappelzetmeel valt de tabletstructuur uiteen (desintegratie) en kan het geneesmiddel oplossen.

Een ander gebied waar het zwelvermogen van een zetmeelkorrel bij uitstek tot de verbeelding spreekt zijn de luiers. Het absorptiemiddel moet vocht snel opnemen en bij belasting vasthouden. Hiervoor is een zetmeelderivaat nodig met een hoge substitutiegraad (carboxymethyl) dat snel verknoopt. Door een vergaande verknoping lost het materiaal niet op, maar zwelt het slechts en blijft het stevig.

### **7. Gezondheidsaspecten**

Producten die maïs- en aardappelzetmeel bevatten, zijn onmisbaar voor coeliakiepatiënten. Dat zijn mensen die geen gluten (zie Chemische Feitelijkheid 100 'Gluten') verdragen. Deze graaneiwitten komen voor in tarwe, haver, rogge, gerst, spelt en kamut. Voedsel dat gluten bevat veroorzaakt bij deze mensen beschadiging van het slijmvlies van de dunne darm. Alleen een glutenvrij dieet kan ernstige klachten voorkomen. Sinds 2000 moeten fabrikanten het op het etiket vermelden als het zetmeel dat ze voor het product gebruikt hebben, afkomstig is van een glutenbevattend graan. In andere gevallen is de aanduiding 'zetmeel' of 'gemodificeerd zetmeel' voldoende.

Helaas geeft deze aanduiding geen absolute zekerheid dat een product glutenvrij is, omdat etiketten niet altijd alle ingrediënten (hoeven te) vermelden, bijvoorbeeld wanneer een product is samengesteld uit verschillende ingrediënten, de zogenaamde 'samengestelde ingrediënten'. Als dit samengestelde ingrediënt minder dan 25% van het eindproduct uitmaakt, is de fabrikant niet verplicht alle ingrediënten van het 'samengesteld ingrediënt' (bijvoorbeeld saus) op het etiket te vermelden. Daarnaast zijn er nog de 'verborgen' bronnen. Door onbedoelde vermenging met glutenbevattende granen tijdens opslag, productie, verpakking en distributie kan een product toch gluten bevatten.

## 8. Milieu- en veiligheidsaspecten

Stofexplosies in opslagsilo's vormen vanwege het hoge vochtgehalte van natief zetmeel (zo'n 15 - 20%) geen gevaar. Dextrine daarentegen, het sterk gehydrolyseerde zetmeel, bevat slechts 1% vocht. Opslag hiervan vergt daarom de nodige veiligheidsmaatregelen, zoals het elektrisch aarden van de silo, vermijden van mogelijke ontstekingsbronnen en het los op de silo aanbrengen van het dak.

Voor het telen van genetisch gemodificeerde planten geldt een 'ja, mits'-beleid: het is in principe toegestaan mits het veilig is voor mens en milieu. Voor het beoordelen van de veiligheid bestaat een vergunningprocedure die in Nederland door het Ministerie van VROM wordt uitgevoerd. Deze procedure is gebaseerd op Europese richtlijnen. De markttoelating van nieuwe genetische gemodificeerde gewassen in Europa is in 1998 gestopt. De Europese Commissie heeft inmiddels opgeroepen tot opheffing van deze situatie omdat er een achterstand is ontstaan ten opzichte van de rest van de wereld.

In Nederland worden op dit moment alleen veldproeven met genetisch gemodificeerde gewassen uitgevoerd. Avebe heeft onlangs van het Ministerie van VROM een positieve beschikking gekregen op de vergunningaanvraag voor veldproeven met hun transgene amylopectine-aardappel, nadat deze een paar jaar geleden was afgewezen. De aardappel droeg toen nog de ongewenste antibioticumresistentiegenen en de precieze locaties van de veldproeven waren nog niet bekend. Ook Plant Research International in Wageningen doet onderzoek op dit gebied.

Commerciële toepassing komt in ons land nog niet voor. In enkele zuidelijke EU-landen wordt in beperkte mate genetisch gemodificeerde maïs voor commerciële doeleinden verbouwd. In de Verenigde Staten en Argentinië komt commerciële teelt van genetische gemodificeerde gewassen op grote schaal voor.

## 9. Literatuur en websites

- G.Th. Franke e.a., *Inleiding zetmeelchemie en zetmeeltechnologie (dictaat)*, Avebe, Veendam (2000)
- G.Th. Franke e.a., *Inleiding zetmeelchemie en zetmeeltechnologie (docentenhandleiding)*, Avebe, Veendam (2000)
- Persbericht van het Ministerie van VROM, *Gemodificeerde fabrieksaardappel van Avebe mag de grond in*, december 2002
- *Nieuwe toekomstkansen voor biopolymeren? Bulkproductie van biopolymeren op basis van hernieuwbare grondstoffen*, NCI, nummer 7, 12 april 2000, p.4 - 6.
- J. van Soest, *Starch plastics: structure-property relationships*, proefschrift Universiteit Utrecht, 1996
- Biotechnologen buigen zich over het bintje in *Over sneeuwballen en glaasjes melk...*, p 100, ten Hagen & Stam uitgevers, Den Haag, 2000, ISBN 90 44001159

## Internet

- Avebe: [www.avebe.nl](http://www.avebe.nl)
- Vraagbaak levensmiddelentechnologie: [www.voedsel.net](http://www.voedsel.net)
- De Nederlandse Coeliakie Vereniging: [www.coeliakievereniging.nl](http://www.coeliakievereniging.nl)
- VROM vergunningendatabase voor ggo's: [www.vrom.nl/ggo](http://www.vrom.nl/ggo)