

INSTITUUT VOOR GRAAN, MEEL EN BROOD TNO
te Wageningen

MEDEDELING Nr. 224

Zetmeel in de broodbereiding

door

Dr. G. Jongh, T. Slim en H. Greve



Overdruk uit Bakkerswereld 29 (8) 349, 351, 353 (1968/69)

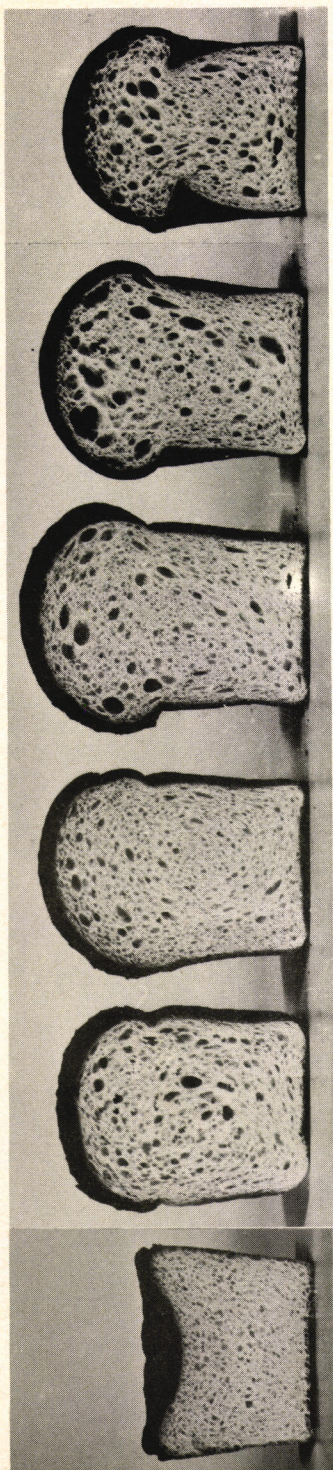


Fig. 1: Brood van tarwezetmeel met opklimmende hoeveelheid eiwit. Eiwitgehalte v.l.n.r. 5 — 10 — 20 — 30 — 40 — 60 %. Optimum broodkwaliteit bij 20 a 30 % eiwit.

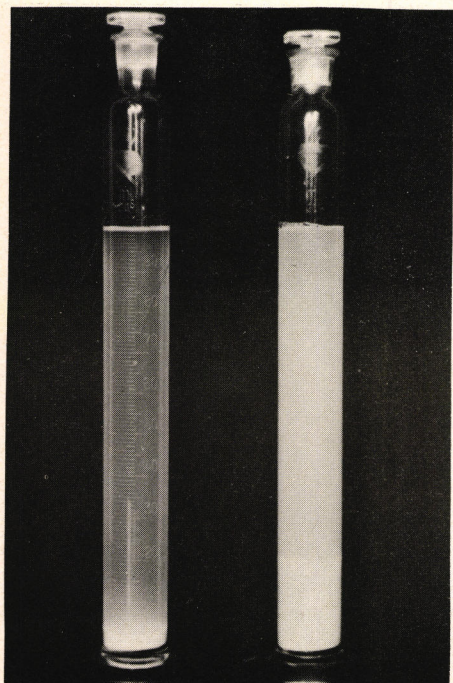
Fig. 2: Uitvlokkings van een verdunde suspensie van 2 g tarwezetmeel in 100 ml water. Links: blanco. Rechts: met toevoeging van 0,1 g GMS

Zoals wij weten, is gluten voor de kwaliteit van ons brood een zeer belangrijk bestanddeel. Veel gluten van goede kwaliteit waarborgt in het algemeen een goede bakwaarde van tarwebloem. Toch betekent dit niet, dat de broodstructuur uitsluitend dank zij het gluten tot stand komt.

In figuur 1 ziet men broden uit mengsels van tarwezetmeel en gluten, met eiwitgehalten van resp. 5 - 10 - 20 - 30 - 40 - 60 % (op de droge stof). Bij 20 à 30 % eiwit ligt de optimale broodkwaliteit. Met 40 % en meer eiwit hebben de broden onvoldoende stand; bij het afkoelen schrompelt de broodkruim in elkaar. Kennelijk speelt ook het zetmeel een rol. Om hierin enig inzicht te geven, zullen wij nu eens niet uitgaan van het gluten, maar met het zetmeel zelf beginnen. In kwantitatief opzicht heeft het daar in ieder geval recht op. Het vormt in tarwebloem nl. ca 85 % van de droge stof.

De invloed van oppervlakte-actieve stoffen op een zetmeelsuspensie

Zetmeel vormt met water een zgn. stabiele suspensie, hetgeen betekent, dat de zetmeelkorrels elkaar bij aanraking afstoten,



en onafhankelijk van elkaar hun weg gaar. Dit verandert echter, wanneer een oppervlakte-actieve stof wordt toegevoegd, b.v. glycerylmonostearaat (GMS).

In figuur 2 is een eenvoudige proef afgebeeld. De linker buis bevat 2 g zetmeel in 100 ml water; de rechterbuis bevat eveneens 2 g zetmeel, maar 1 ml water is vervangen door 1 ml van een GMS-emulsie, die 0,1 g GMS bevat. Na doorschudden tot een homogene suspensie werden beide buizen tegelijk neergezet. In beide buizen is een sediment waar te nemen. In de rechter buis is dit sediment echter aanzienlijk volumineuzer. In de bovenstaande vloeistof ziet men eveneens duidelijke verschillen. Links een zeer geringe troebeling; slechts bij nauwkeurige beschouwing ziet men de afzonderlijke zetmeelkorrels als vele kleine stipjes. In de rechterbuis echter een duidelijke troebeling als gevolg van aggregaatvorming. De elkaar ongemoeid latende zetmeelkorrels in de linkerbuis glijden, na bezinken, ongehinderd langs elkaar heen tot ze zeer dicht tegen elkaar aan liggen. Na 5 minuten werd in de linker buis een sedimentvolume afgelezen van 1,0 ml; in de volgende 2 uur nam dit volume nog langzaam toe tot 3,7 ml. De in de rechterbuis gevormde aggregaten nemen na bezinken aanzienlijk meer plaats in. Na 5 minuten was het sedimentvolume 30 ml. Het dan nog zeer luchtige sediment zakte geleidelijk iets verder in elkaar; na 2 uur bedroeg het volume 8 ml.

De meest voor de hand liggende verklaring voor de uitvlokkende werking van het GMS is, dat de GMS-moleculen zich hechten aan het oppervlak der zetmeelkorrels, die daardoor een enigszins polair karakter krijgen. Waarschijnlijk wordt de hydrofobe stearinezuurrest van het GMS-molecuul uit het water gedrukt, en op het zetmeeloppervlak met van der Waals krachten vastgehouden, terwijl de hydrofiele glycerolrest naar het water gekeerd is.

Wat zal er nu gebeuren als we degen van zetmeel maken met en zonder GMS? B.v. uit 100 g zetmeel (vochtgehalte 14 %) en 60 ml water. We hebben dan volgens chemisch spraakgebruik een geconcentreerde zetmeel/watersuspensie van 53,8 %. De zetmeelsuspensie van deze concentratie vertoont zonder GMS het verschijnsel van dilatantie, dat alleen voorkomt

bij geconcentreerde suspensies, waarvan de deeltjes elkaar niet aantrekken. Een dergelijke suspensie vloeit over het oppervlak van het vat waarin het zich bevindt uit, tot zij door de wand wordt tegengehouden. Bij krachtig roeren, neemt echter de suspensie tijdelijk de eigenschappen van een vaste stof aan; zodra de druk wordt opgeheven, vloeit de suspensie weer uit. Het verschijnsel berust hierop, dat door de bij het roeren uitgeoefende druk de deeltjes zeer dicht tegen elkaar aan gedrukt worden. Wanneer de deeltjes elkaar echter aantrekken, geeft dit ook in de geconcentreerde suspensie aanleiding tot aggregaatforming. De pakking kan dan nooit zo dicht worden, dat het verschijnsel van dilatantie optreedt.

Bij krachtig roeren ondervindt men aanzienlijk minder weerstand. De onderlinge aantrekking tussen de deeltjes maakt verder, dat het deeg met GMS, als het aan zichzelf wordt overgelaten, minder snel uitvloeit dan het deeg zonder GMS. Met enkele percenten GMS is het deeg geheel stijf geworden: het vloeit niet meer uit.

Geheel overeenkomstig de eigenschappen van een plastisch systeem is het dan kneedbaar, en behoudt het na het kneden de verkregen vorm. Het water is geheel opgesloten in de poriën tussen de zetmeelkorrels. Uiterlijk is het deeg volkomen droog.

Figuur 3 toont een voorbeeld: Links een dilatant systeem nl. droog tarwezetmeel in xyleen, en rechts hetzelfde systeem, dat door toevoeging van 12 % water plastisch is geworden. Geheel in overeenstemming met het optreden van plastische eigenschappen in het zetmeeldeeg neemt men bij lage schuifspanningen, die geen aanleiding geven tot het dilatantie-effect, een viscositeitstoename waar als gevolg van de GMS-toevoeging. Om een idee te geven van de relatieve hoeveelheid der toevoegingen zij vermeld, dat wij uit door Stamborg gegeven cijfers over de oppervlakte van zetmeel konden berekenen, dat wanneer 0,1 % GMS regelmatig over het zetmeeloppervlak verdeeld zou zijn, een laag van ongeveer 5 nm ¹⁾ dikte gevormd zou worden. Dit komt ongeveer overeen met de lengte van een GMS-molecuul.

¹⁾ 1 nm = 1 miljonde mm

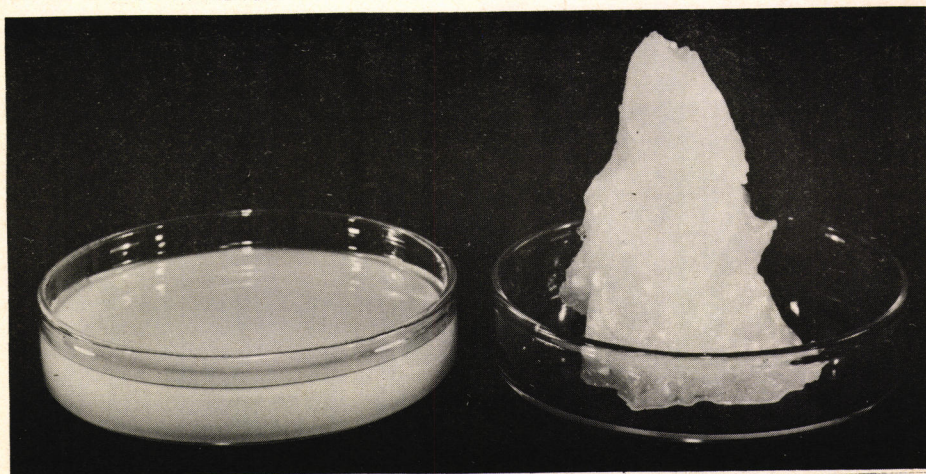


Fig. 3: Links: droog tarwezetmeel in xyleen; dilatant. Rechts: tarwezetmeel met 12 % water in xyleen; plastisch

Brood uit zetmeeldeeg

Het bovenstaande heeft aangetoond, dat GMS de samenhang in een zetmeeldeeg verhoogt, dat het deeg daardoor minder vloeibaar en het water beter ingesloten wordt binnen de poriën tussen de zetmeelkorrels. Te verwachten is, dat als gevolg van de door GMS verkregen samenhang in het deeg ook de bij het kneden ingeslagen lucht beter zal worden verdeeld en vastgehouden. Zodoende zullen meer luchtbelletjes gevormd worden die dienst kunnen doen als kernen waarheen het door de gist gevormde koolzuurgas moet diffunderen. Wanneer de samenhang dan ook nog voldoende blijkt om tijdens de rijis voldoende gashoudend vermogen te waarborgen, kan men verwachten dat een redelijke broodstructuur gevormd wordt.

In figuur 4 ziet men, dat inderdaad de toevoeging van 0,05 % GMS reeds een opmerkelijk effect heeft. Het zetmeeldeeg zonder GMS rijst wel, maar zakt tenslotte weer in elkaar. De kruimstructuur is grof en vertoont zeer dikke celwanden. De broden met GMS vertonen zeer veel fijne poriën, met aanzienlijk dünnere celwanden. Met een zo grote hoeveelheid GMS, dat het deeg geheel stijf wordt (b.v. 5 % GMS) valt geen brood te bereiden; het deeg rijst in het geheel niet. Wel verkrijgt men in dit geval weer een goed brood, wanneer de hoeveelheid toegevoegd water wordt verhoogd van 60 % tot 85 % of hoger.

Triglyceriden en polyoxyethyleenstearaat (POES)

Uit het hiervoren besprokene zou men verwachten, dat ook andere stoffen de gewenste verandering in het zetmeeldeeg teweeg kunnen brengen. Zij zullen daartoe verband moeten brengen tussen de zetmeelkorrels. Dit verband moet voldoende stevig zijn om tijdens de rijis — ook de ovenrijis — te voorkomen, dat het deeg voortijdig lek wordt. Tegelijkertijd moet deze hechting echter nog voldoende beweeglijkheid overlaten om rijzen van het deeg mogelijk te maken. Triglyceriden bleken aan deze voorwaarde te kunnen

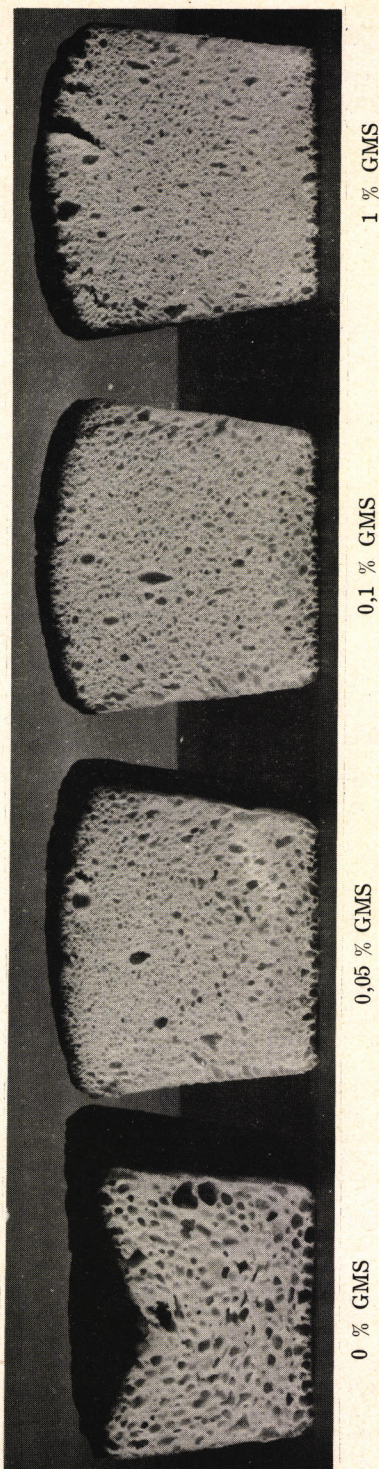


Fig. 4: Dwarsdoorsneden van broden uit tarwetzetmeel (60 % water).

voldoen, zij het dat zoals te verwachten viel, de benodigde hoeveelheid veel groter is dan bij GMS. In de bovenste rij van figuur 5 zijn, na het blanco zetmeelwaterbrood, broden afgebeeld met resp. 5 en 10 % reuzel.

In de tweede rij zijn ter vergelijking broden met 0,1 en 1 % GMS opgenomen. Ten slotte bevat de figuur ook een brood met 1 % polyoxyethyleen stearaat (POES). Deze oppervlakte-actieve stof wordt evenals GMS gebonden aan het zetmeeloppervlak. De aantrekkingskracht tussen de met POES bedekte deeltjes is echter aanzienlijk zwakker dan bij bedekking met GMS. In overeenstemming hiermee is de waarneming, dat het deeg met POES aanzienlijk sneller rijst dan dat met GMS en dat de structuur veel minder regelmatig is. De geringe aantrekkingskracht bleek ook bij uitvlokkingproeven met een verdunde zetmeelsuspensie: er vond met POES nl. wel uitvlokking plaats, maar het sedimentvolume werd door POES aanzienlijk minder verhoogd dan door GMS (na 5 minuten waren de sedimentvolumes voor blanco, POES en GMS resp. 1,7 en 30 ml).

Het effect van eiwitten

Ook eiwitten blijken de rol van verbindend element te kunnen vervullen. Zo b.v. het bij kamertemperatuur corpusculaire kippe-eiwit dat in de warme denatureert, en het lineaire gliadine.

Zoals blijkt uit figuur 6 wordt reeds met 0,1 % van deze eiwitten een effect verkregen; duidelijk meer echter bij toepassing van grotere hoeveelheden. Daarbij speelt waarschijnlijk ook de grotere viscositeit van de oplossing in het deegwater een rol, die de beweeglijkheid van de zetmeelkorrels ten opzichte van elkaar mede beïnvloedt. Bij de hogere toevoeging treedt ook een duidelijke ovenrijs op. In de reeks van de eiwitten past ook het gluten. Hiermede werden echter alleen bij hogere toevoegingen duidelijke resultaten verkregen.

Samenhang van de zetmeelkorrels in de celwanden van de broodkruim

Uit hetgeen tot dusverre besproken is met betrekking tot GMS, is gebleken dat toevoeging van deze oppervlakte-actieve stof de ontwikkeling van een fijne structuur in zetmeeldeeg sterk bevordert, en

dat deze structuur zich handhaaft tot in de kruim van het brood. De invloed van GMS op de broodkruim gaat echter verder dan dit. Terwijl zetmeelbrood bij het afkoelen na het bakproces zeer hard wordt, is de kruim van het brood met GMS aanzienlijk zachter en losser van samenhang. Uit de in figuur 7 afgebeelde microfoto's blijkt, dat deze verandering in de geaardheid van de kruim samengaat met een vermindering van de samenhang tussen de zetmeelkorrels in de celwanden. De foto links boven heeft betrekking op een celwand in brood zonder GMS-toevoeging. Hierin blijken de zetmeelkorrels te zijn verbonden tot een vrijwel homogeen geheel. Ze zijn niet afzonderlijk waar te nemen. Reeds met 0,02 % GMS is de vorm der zetmeelkorrels duidelijk te herkennen. Met oplopende hoeveelheden neemt de scheiding tussen de zetmeelkorrels toe. Bij brood met 1 % GMS is het verband tussen de zetmeelkorrels zo gering geworden, dat ze in het microscopische preparaat grotendeels los van elkaar komen te liggen. Met 5% GMS is dit in nog sterkere mate het geval. Tevens ziet men, dat bij de dichte pakking der zetmeelkorrels in brood met zeer weinig GMS de korrels een langwerpige vorm hebben aangenomen. Naarmate het verband losser wordt, nemen ze een rondere vorm aan. Deze waarnemingen kan men als volgt verklaren. Wanneer onder invloed van de ovenwarmte het deeg de verstijfselings temperatuur van zetmeel bereikt, zwellen de zetmeelkorrels onder opnemng van het beschikbare water tot zeer geconcentreerde zetmeelgelen. De weke, vervormbare zetmeelkorrels in de celwanden worden, als bij de ovenrijs de cellen groter worden, uitgerekt en komen dicht naast elkaar te liggen; bij afkoeling van het brood gaan ze onderling verkleven. Zonder GMS wordt aldus een hard brood verkregen.

Het onderling verkleven der zetmeelkorrels wordt blijkbaar door GMS tegengegaan, waardoor in de microfoto's de zetmeelkorrels bij aanwezigheid van GMS afzonderlijk te zien zijn, en de samenhang van de broodkruim aanzienlijk vermindert. Aangezien wij hier een aanrakingspunt hebben met het belangrijke probleem van het oudbakken worden van brood en de bestrijding daarvan door toevoegingen, willen wij nog even verder ingaan op de genoemde processen. Men stelt

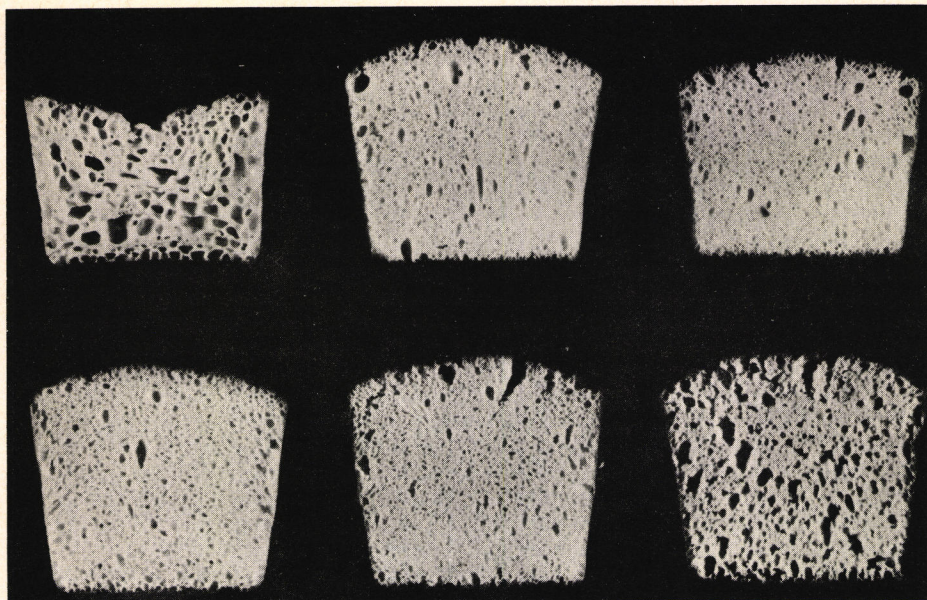
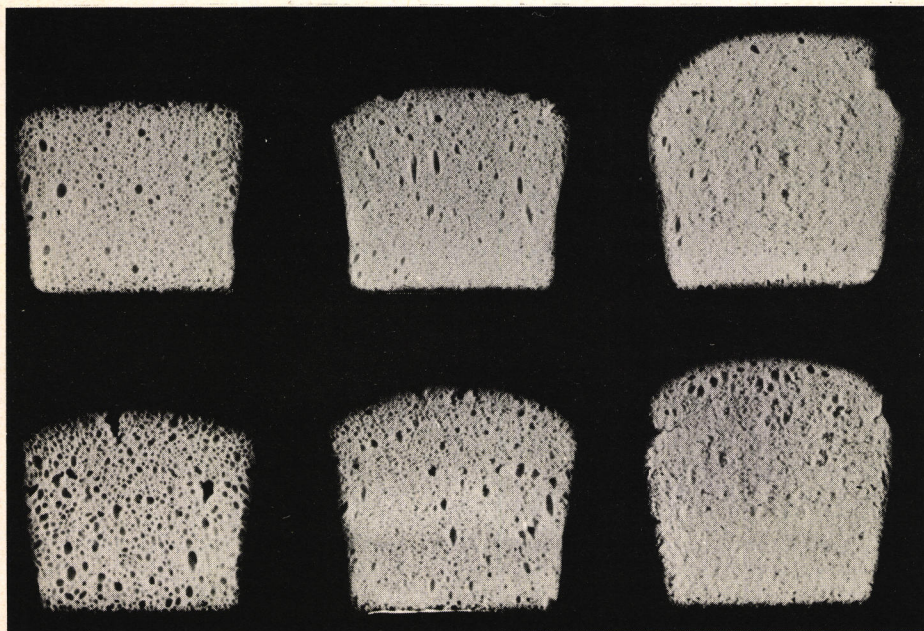


Fig. 5: Invloed van reuzel en POES, in vergelijking met GMS. Boven: v.l.n.r. blanco — 5 % reuzel — 10 % reuzel. Onder: v.l.n.r. 0,1 % GMS — 1 % GMS — 1 % POES.

Fig. 6: Invloed van kippe-eiwit en gliadine. Boven: kippe-eiwit, v.l.n.r.: 0,1 % — 1 % — 15 %. Onder: gliadine, v.l.n.r. 0,1 % — 1 % — 11 %.



zich voor, dat een zetmeelkorrel is opgebouwd uit grote, vertakte en kleine, onvertakte moleculen, resp. amylopectine en amylose genoemd. Onderling zijn de moleculen verbonden door kristallijne knooppunten. Het polaire karakter van de zetmeelmoleculen maakt, dat ze een neiging tot hydratatie vertonen. De natieve korrels bevatten waarschijnlijk ca. 10 % water als kristalwater. Verder wordt bij kamertemperatuur door zetmeelkorrels wanneer ze in water gesuspenderd zijn, nog ca. 40 à 50 % water geabsorbeerd. Er zij hier opgemerkt, dat zich in onze zetmeeldeggen met 86 % water (% op droog zetmeel) in de evenwichtstoestand bij kamertemperatuur dan nog ca. 30 % water tussen de zetmeelkorrels bevindt. Voor het verbreken van de bindingen tussen de zetmeelkorrels is energie nodig. Verwarming tot boven de verstijfselings temperatuur is daarom noodzakelijk om het oplossen op gang te brengen. In overmaat water nemen de korrels vele malen hun gewicht aan water op, zonder hun samenhang te verliezen. De diverse bindingen verdwijnen slechts geleidelijk; eerst de zwakkere bindingen, later geleidelijk sterkere, tot uiteindelijk algehele desintegratie van de korrels optreedt. Bij afkoelen treedt weer associatie op, hetgeen als de concentratie groot genoeg is, leidt tot gelvormig en geleidelijk plaatselijke herkristallisatie. Dit laatste wordt aangeduid als retrogradatie. Wanneer men tarwezetmeel in overmaat water een half uur op 95 °C verhit en daarna centrifugeert, krijgt men ca. 60 % van de droge stof in het centrifugaat als gezwollen zetmeelkorrels, die ca. 20 x het gewicht van hun droge stof aan water bevatten; 40 % bevindt zich volledig opgelost in de bovenstaande vloeistof. In het brooddeeg kan het oplossen slechts zeer

gedeeltelijk plaatsvinden, daar de beschikbare hoeveelheid water slechts ongeveer $\frac{3}{4}$ x het gewicht van het droge zetmeel bedraagt. Echter worden kennelijk voldoende bindingen verbroken om het zetmeel de kauweigenschappen te verlenen die ons doen constateren dat het „gaar” is geworden. De korrels blijven echter geheel intact. Bij afkoelen kan geleidelijk weer herkristallisatie optreden en in ons zetmeelbrood niet alleen binnen de zetmeelkorrels, maar ook tussen de dicht opgeeng geplakte zetmeelkorrels onderling. Hoe moeten wij ons nu de werking van GMS voorstellen? Bekend is, dat het met vrije amylose een complex vormt. Naar analogie met het zetmeel/jodium complex wordt wel aangenomen, dat het hydrofobe deel van het GMS met een amylosemolecuul een spiraalvormig complex aangaat. Wanneer reeds tijdens het verstijfselingsproces GMS aanwezig is, zou dit dan met de vrije einden van amylosemoleculen en met de buitenste takken van amylopectinemoleculen dergelijke complexen aangaan, hetgeen de neiging tot verder oplossen sterk zou verminderen. Dit verklaart dan, dat men voor GMS en b.v. vetzuren met meer dan 18 C-atomen vindt, dat deze zowel het door de zetmeelkorrels opgenomen water als de hoeveelheid in vrije oplossing gegaan zetmeel sterk verminderen. Ook is het begrijpelijk, dat de neiging tot retrogradatie vermindert. Bij overbrenging van deze ideeën op het zetmeeldeeg moet men zich wel realiseren, dat de voor het zg. oplossen beschikbare hoeveelheid water daarin zeer gering is. Het is dan ook de vraag, of de structuur van de zetmeelkorrels voldoende open wordt om het mogelijk te maken, dat het grote GMS-molecuul daarin kan doordringen, om vervolgens door het aan-

Tabel 1: Invloed van GMS op vochtretentie in zetmeelbrood¹⁾

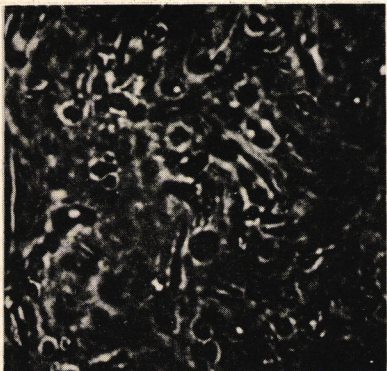
GMS in deeg, in % op zetmeel	0	0,1	0,5	1,0	5,0
Vochtgehalte ²⁾ in %					
v.d. broodkruim	32,7	34,4	35,0	34,9	35,9
Vochtgehalte in %					
op zetmeel ³⁾	43,1	45,1	46,6	46,6	50,6

1) Deegsamenstelling: 300 g tarwezetmeel (14 % vocht basis), 180 g water, 6 g zout, 12 g saccharose, 18 g gist.

2) De cijfers zijn gemiddelden van 3 gelijke series bakproeven

3) Berekend op zetmeel met 14 % vocht.

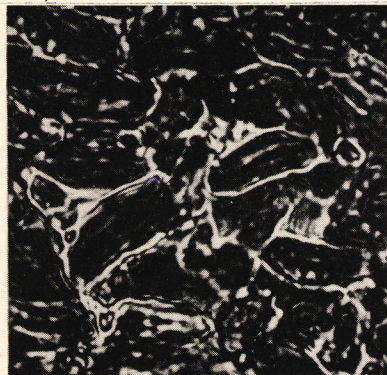
basis formula



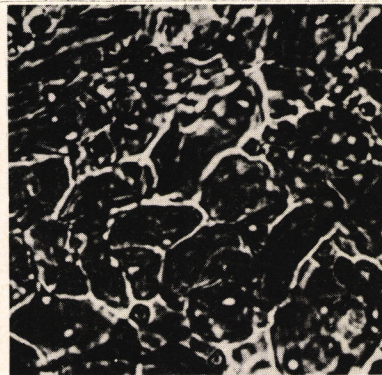
+ 0,02 % GMS



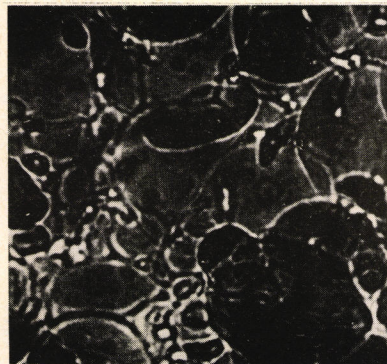
+ 0,05 % GMS



+ 0,1 % GMS



+ 1 % GMS



+ 5 % GMS

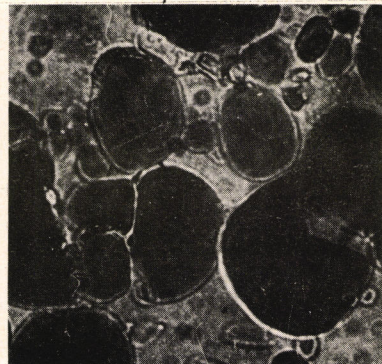


Fig. 7: Microfoto's van broodkruimlamellen van brood van tarwezetmeel. Gevarieerde GMS-toevoegingen

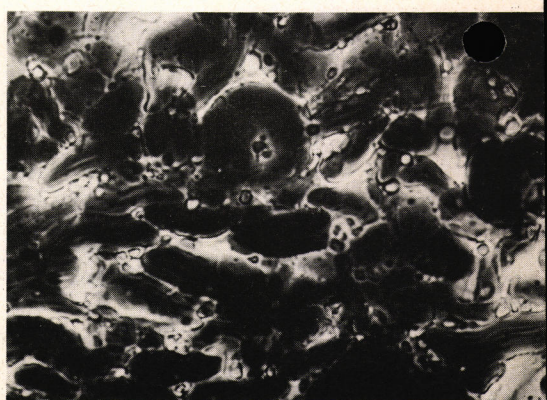
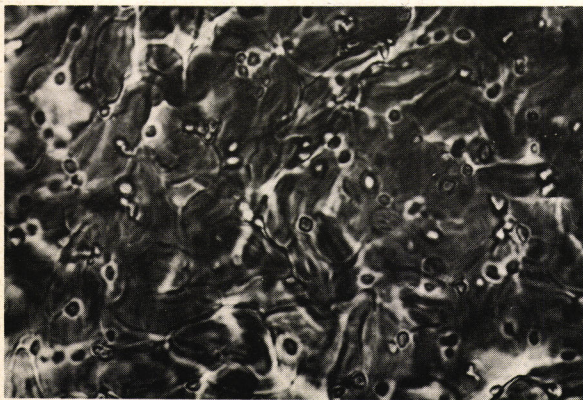
gaan van complexen binnen de korrel verder zwellen te vertragen en daarmee de bij afkoelen optredende retrogradatie binnen de korrels af te remmen. In ieder geval kan het GMS natuurlijk aan de buitenkant van de korrel al of niet spiraalvormige complexen met het zetmeel aangaan, en daarmee het verkleven van deze korrels tegengaan. Dit laatste is dan ook volgens onze waarnemingen duidelijk het geval. In hoeverre ook herkristallisatie binnen de zetmeelkorrels wordt tegengegaan door het GMS valt uit onze waarnemingen niet op te maken. Wel geven de in tabel 1 opgenomen gegevens ons aanleiding tot twijfelen aan een onder invloed van GMS optredende verminderde zwelling.

De tabel geeft de invloed van GMS op de na het bakproces in het brood achtergebleven hoeveelheid vocht. De cijfers in de laatste kolom zijn de percentages vocht, berekend op het voor de broden gebruikte zetmeel met 14 % vocht. Hieruit blijkt dat bij toenemende hoeveelheden GMS de hoeveelheid in het brood vastgehouden water groter wordt in plaats van kleiner. Dat het zwellende zetmeel van de toch al kleine beschikbare hoeveelheid water veelz. vrij water zou hebben overgelaten, is zeer onwaarschijnlijk, zodat de cijfers vermoedelijk een vrij getrouw beeld geven van het door het zetmeel gebonden water. Op het eerste gezicht zal iemand mogelijk menen dat er een zekere tegenstrijdigheid bestaat tussen de bevordering door GMS van bindingen tussen de zetmeelkorrels in het deeg en het verzwakken van de binding tussen de gezwollen

zetmeelkorrels in het brood. Men bedenke dan, dat in het deeg de niet-gezwollen korrels vrijwel a-polair zijn, en de zwakke binding tussen de met GMS bedekte korrels dan juist voldoende is om het deeg voldoende samenhang te geven om te kunnen rijzen. Na het bakken hebben de gezwollen zetmeelkorrels echter een sterke neiging tot verkleven; de zwakke aantrekkingskracht tussen de korrels met GMS betekent dan een zeer sterke teruggang van die neiging. Wat de invloed van polyoxyethyleenstearaat (POES) op de broodkrum betreft, sluiten de resultaten geheel aan bij de met het deeg opgedane ervaringen. Ook in de broodkrum is de aantrekking tussen de zetmeelkorrels met POES aanzienlijk minder dan tussen die met GMS. Dit heeft tot gevolg, dat zetmeelbrood met POES bij aanraking uit elkaar valt. Dat ook triglyceriden, mits in voldoende hoeveelheid aanwezig, de samenhang in de broodkrum verminderen wordt begrijpelijk uit figuur 8, die een indruk geeft van de afschermende werking op de zetmeelkorrels door 10 % reuzel.

Wat de invloed van kippe-eiwit en gliadine betreft, is de invloed op de stijfheid van de broodkrum van lage toevoegingen aanzienlijk minder sterk dan die van kleine hoeveelheden GMS en POES. De hoge toevoegingen (10 à 15 % eiwit) verminderen de starheid van de broodkrum duidelijk, zonder echter de samenhang daarin zo sterk te verminderen als bij toevoeging van de emulgatoren het geval is. Dit betekent, dat de broodkrum iets elastischer is.

Fig. 8: Invloed van reuzel op krum van zetmeelbrood. Links zonder vet; rechts met 10 % vet



Cassavezetmeel

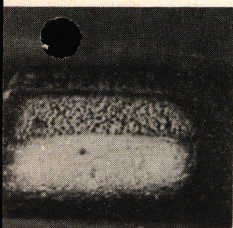
Met het oog op de eventuele toepassing in ontwikkelingslanden die slechts over een klein tarwe-areaal beschikken, maar goede mogelijkheden voor cassave-verbouw hebben, is in ons instituut onderzoek verricht om aanvaardbaar brood te bereiden met cassavezetmeel als basisgrondstof. Evenals bij tarwezetmeel heeft deeg van cassavezetmeel onvoldoende gashoudend vermogen. De toevoeging van 0,01 % GMS bleek echter reeds voldoende

de samenhang aan het deeg te geven om tijdens de rijfs stand te houden. In de oven bedroeg deeg van cassavezetmeel zich geheel anders dan deeg van tarwezetmeel. Dit is terug te voeren op de aanzienlijk grotere snelheid waarmee cassavezetmeel tijdens het bakproces water opneemt. Volgens Leach is in overmaat water de in de eerste 30 minuten bij 95 °C opgenomen hoeveelheid water per gram tarwezetmeel 21 g, per gram cassavezetmeel 71 g.

Uit figuur 9 zijn de gevolgen van dit ver-

Fig. 9; Brood uit cassavezetmeel. Boven; dwarsdoorsneden van broden met v.l.n.r. 0 — 0,1 — 1 — 5 % GMS. Midden; microfototo's van de kruim der zelfde broden. Onder; microfototo's van de kruim van zetmeelbroden met dezelfde GMS toevoegingen

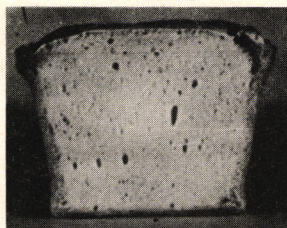
0 % GMS



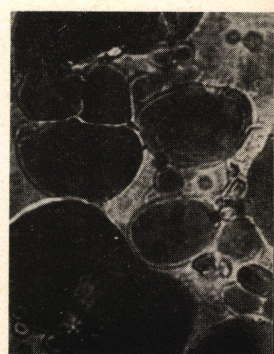
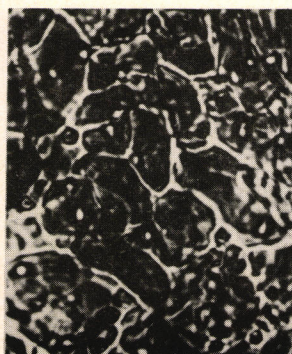
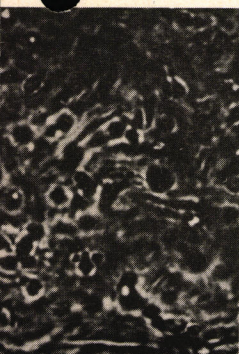
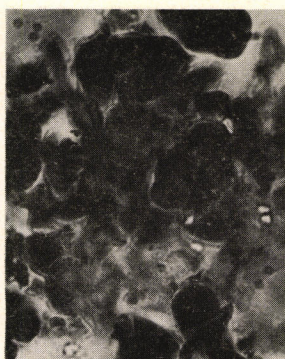
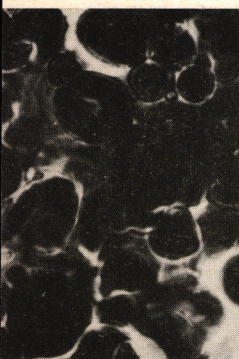
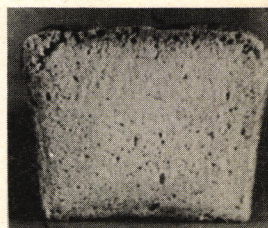
0.1 % GMS



1 % GMS



5 % GMS



schil in verstijfselingssnelheid op de broodeigenschappen af te lezen. Wanneer geen GMS aanwezig is, ziet men in het geval van cassavezetmeel het volgende gebeuren: zodra de buitenlaag van het deeg de verstijfselingstemperatuur heeft bereikt, neemt deze het grootste deel van het deegvocht zeer snel op, waardoor rondom het brood een volledig verstijfseld zetmeelgel ontstaat, dat in de ovenwarmte zeer week is en bij afkoelen zeer taai wordt. Voor het grootste deel van het zetmeel binnen deze buitenlaag is bij het bereiken van de verstijfselingstemperatuur onvoldoende water over om meer dan een begin van swelling te vertonen. In de microfoto, genomen op 1 cm van de buitenkant van het brood, ziet men dan ook nog de losse natieve zetmeelkorrels in tegenstelling tot de overeenkomstige microfoto van tarwezetmeelbrood. Het grootste deel van de broodkruim vertoont, in overeenstemming hiermee, de kalkachtig witte kleur van het natieve zetmeel. Toevoeging van GMS heeft tengevolge dat door het gehele deeg de zetmeelkorrels gaan samenhangen. Daardoor wordt het water beter vastgehouden, en kan het niet zo gemakkelijk naar de buitenkant getrokken worden.

Als gevolg hiervan is de verstijfseling regelmatig (minder aan de buitenkant, meer in het overige deel van het deeg). Met 0,1 % GMS is het effect nog onvolledig. De nog sterk verstijfselde buitenlaag krimpt bij het afkoelen en vervormt het brood; in het midden van het brood blijft nog een kern van natief zetmeel bestaan. Een microfoto van de broodkruim op 1 cm van de buitenkant heeft veel overeenkomst met die van tarwezetmeelbrood zonder GMS. Bij toevoeging van 1 % GMS is de samenhang tussen de zetmeelkorrels in het rijzende deeg voldoende om het water zodanig vast te houden dat dit niet naar de buitenkant gezogen kan worden.

De verstijfseling kan daardoor vrijwel door het gehele deeg in gelijke mate plaatsvinden. Het brood met 1 % GMS heeft een voor zetmeelbrood normale stand en structuur. Blijkens de microfoto's bestaat er bij toevoeging van 1 en 5 % GMS nog een relatief grote samenhang tussen de zetmeelkorrels in de celwanden van de broodkruim, dit in tegenstelling met tarwezetmeelbrood, waar reeds bij 1 % GMS de zetmeelkorrels elkaar in het microscopische preparaat geheel losgelaten hebben.