

BULLETIN

EEN UITGAVE VAN TNO-VOEDING, BAKKERIJ TECHNOLOGIE, ZEIST

SEPTEMBER 1996

Glutenontwikkeling

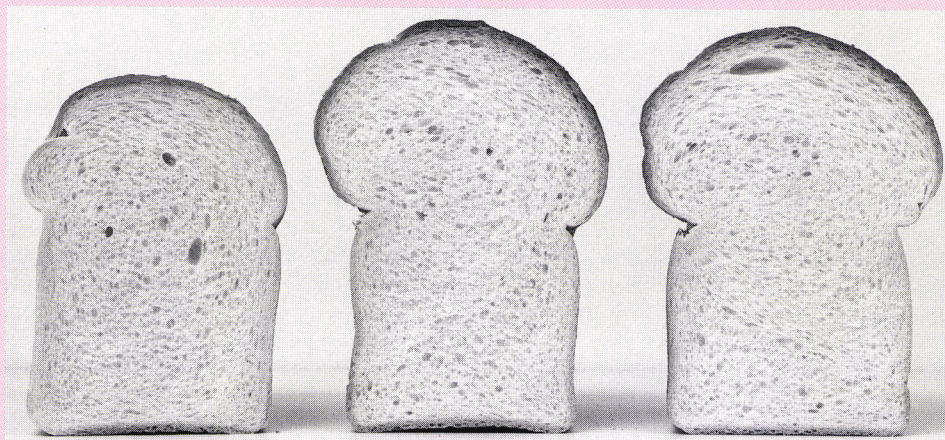
Een paar aspecten op een rij gezet

door Ir. P. Sluimer

Een belangrijk aspect van de bereiding van brood is het kneden, met name glutenontwikkeling. Wat er bij glutenontwikkeling precies gebeurt, weten we eigenlijk nog steeds niet. Terwijl dat kneden in het gehele broodbereidingsproces een steeds belangrijkere plaats inneemt. Traditioneel lag het accent van de brood-bereiding in het rijsproces en bewerkingen tijdens de rijs. Door de komst van intensief werkende kneeders en effectievere broodverbetermiddelen is dat accent verdwenen en ligt het nu veel meer bij de deegbereiding.

In de laatste 25 jaar is veel onderzoek gedaan naar het kneedgedrag. Dat gebeurde niet alleen in de bakkerij. Ook in chemische en fysische laboratoria probeert men al jarenlang erachter te komen wat de rol is van verschillende componenten bij de deegbereiding. Daarbij zijn een aantal resultaten geboekt, die in de bakkerij nog weinig ingang gevonden hebben. Vandaar dat het ons nuttig leek een bulletin te wijden aan glutenontwikkeling. Daarbij zullen naast een aantal bekende zaken ook nieuwe de revue passeren.

We beginnen met een wetenschappelijke discipline die al heel lang bij kneedonderzoek wordt gebruikt: de reologie. Vervolgens kijken we op drie niveau's naar het kneden. Het eerste niveau behandelt de verschijnselen die met het blote oog waarneembaar zijn, dat wil zeggen tot circa 1 mm (dat is een duizendste meter). Bij het volgende niveau dalen we af tot de microscopie, waar we verschijnselen kunnen zien in de orde van een miljoenste meter. Tenslotte wordt in de chemie onderzoek gedaan naar verschijnselen die zich afspelen op een miljardste meter.



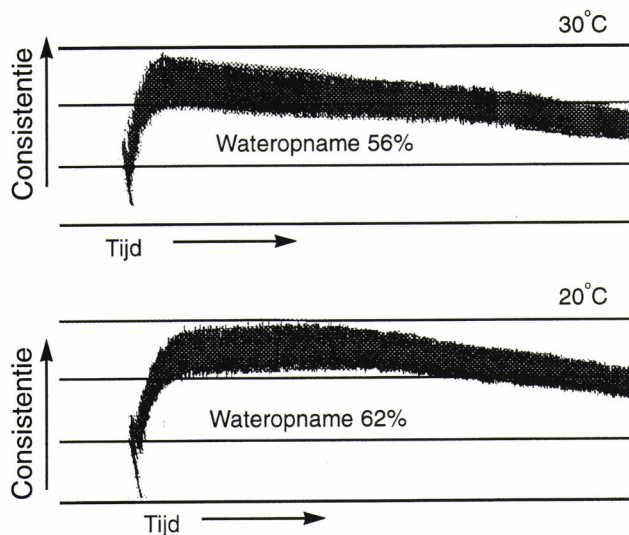
Om het effect van het kneden te laten zien zijn kneedproeven uitgevoerd in een spiraalkneder. Daarbij is of alleen met de hoge snelheid (280 slagen per minuut) of alleen met de lage snelheid (140 slagen per minuut) gekneed. Met een handelsbloem met een temperatuur van 10°C werden proeven gedaan met toevoeging van 56% water van respectievelijk 30°C, 20°C en 10°C. Gekneed werd tot het deeg een temperatuur van 27°C had bereikt. De hier getoonde dwarsdoorsneden zijn van de processen bij hoge kneedsnelheid. Het eerste deeg was duidelijk onderkneed (kort en nog wat stug). Het tweede deeg was goed gekneed (goed verwerkbaar). Het derde deeg was duidelijk te veel gekneed (kleverig). De kneedtijden waren respectievelijk: 4½, 6 en 8 min. terwijl de energietoevoer of "workinput" 14, 28 en 42 kJ/kg deeg was.

De broodvolumes waren respectievelijk 4,0, 4,4 en 4,5 l.

Bij het kneden van dezelfde degen met lage snelheid werden vergelijkbare resultaten verkregen (kneedtijden 10, 15 en 18 min., workinput 14, 28 en 40 kJ/kg), zij het dat het derde deeg droger en steviger was dan van de bovengenoemde serie.

Reologie

Reologie heet in het Nederlands stromingsleer. Het is de wetenschap die zich bezig houdt met het vervormen van materialen onder invloed van een kracht. Als die vervorming blijvend is, noemen we zo'n materiaal viskeus zoals bij klei. Als ze met het wegnemen van de kracht verdwijnt, zoals bij rubber, noemen we een materiaal elastisch. Brooddeeg is voor reologen een gewild materiaal, omdat het een zeer complex visko-elastisch gedrag vertoont. Het is zowel viskeus als elastisch.



Figuur 1. Twee farinogrammen, boven opgenomen bij 30°C, onder bij 20°C. De verticale uitslag geeft de weerstand weer die de kneedarm tijdens het kneden van een deeg ondervindt. Dit is dus een maat voor de consistentie.

Een veel gebruikt apparaat bij de deegreologie is de farinograaf. Het bestaat o.a. uit een kleine dubbele z-arm kneder. Het is een zogenaamde registrerende kneder, dat wil zeggen dat de kracht die op het deeg wordt uitgeoefend, wordt geregistreerd. Met behulp van water

dat door de dubbele mantel van de kneedkuip wordt gepompt, wordt het deeg op een bepaalde temperatuur, gehouden. Meestal wordt daarvoor 30°C gekozen.

In figuur 1 zijn twee farinogrammen opgenomen van een broodbloem. Horizontaal is de kneedtijd in minuten weergegeven. Verticaal is de kracht weergegeven die door de kneedarm op het deeg wordt uitgeoefend. Dit is een maat voor de consistentie of stijfheid van het deeg. De min of meer brede band ontstaat doordat de kracht op het deeg tijdens een omwenteling van de kneedarmen een minimum en een maximum vertoont.

De drie elementen die voor het gedrag van meel bij het maken van een deeg van belang zijn, zijn de tijd die nodig is voor het bereiken van de maximale consistentie of deegstijfheid (de ontwikkelingstijd), de watertoevoeging die nodig is voor het bereiken van die bepaalde consistentie (wateropname) en de verlaging van de consistentie na het maximum (de zogenaamde afslapping).

Een lange ontwikkelingstijd wordt over het algemeen beschouwd als behorende bij een meel met een goede bakkwaliteit. Als de ontwikkelingstijd lang is, kan lang gekneet worden zonder dat het deeg afslapt. En dat is meestal niet slecht voor de kwaliteit van het brood.

Ook de wateropname wordt meestal in verband gebracht met de bakkwaliteit van het meel: hoe hoger ze is des te beter die bakkwaliteit. Ook dat ligt voor de hand. Bij het bakken van brood verstijft het zetmeel. Daarvoor is water nodig. Binnen tamelijk wijde grenzen is water een goed broodverbetermiddel.

Ook de afslapping na het maximum heeft een verband met bakkwaliteit. Een afslappend deeg is meestal kleverig en daardoor minder goed verwerkbaar. Dat is dus niet gewenst.

Vooraf in de Amerikaanse literatuur wordt de maximum consistentie vaak gezien als punt van optimale ontwikkeling. Zo duidelijk is dat zeker niet. Meer betekenis dan dat het punt van maximale consistentie is zouden we er niet aan toe willen kennen. "Peak consistency", zoals de Amerikanen dat noemen, is natuurlijk wel een goed richtpunt. Als je erover heen bent slapt deeg af, en dat is ongewenst. Hoe lang gekneet moet worden hangt ook

In de bakkerij zijn verschillende begrippen vaak niet éénduidig vastgelegd. Daarom is het belangrijk steeds uit te leggen wat met een bepaald woord wordt bedoeld. Voor een paar begrippen die met deeg en kneden verband houden willen we dat hieronder doen.

- Intensief kneden. Dit is voornamelijk een eigenschap van de kneder. Het zegt niets over het deeg. Van een deeg dat kort met een intensief werkende kneder wordt gekneet, zal het gluten nog niet voldoende ontwikkeld zijn. De intensiteit van kneden wordt wel uitgedrukt in vermogen per kg deeg (kW/kg) of in stijging van de deegtemperatuur per minuut kneden.
- Als we spreken over een goed gekneet deeg bedoelen we dat er voldoende arbeid op het deeg is verricht. Dat kunnen we uitdrukken in kJ per kg deeg of in de temperatuurstijging van het deeg tijdens het kneden. Dit is dus een eigenschap van het deeg en niet van de kneder. Je kunt zowel een goed gekneet deeg verkrijgen met een intensieve als met een weinig intensieve kneder. Het verschil is dat je met een weinig intensief werkende kneder alleen wat langer moet kneden dan met de intensieve kneder.

In de bakkerij worden de begrippen goed en intensief nog

weleens verward. Vandaar de volgende toelichting. Voor de arbeid die op een deeg verricht wordt geldt

$$\text{arbeid} = \text{vermogen} \times \text{tijd}$$

of

$$\text{mate van kneden} = \text{intensiteit van kneden} \times \text{tijd}$$

Een goed gekneet deeg kan dus ontstaan door met een weinig intensieve kneder voldoende lang te kneden of met een intensievere kneder wat korter te kneden.

- Deegconsistentie. Dit is een complex begrip, dat nauwelijks in een getal is vast te leggen. Tijdens het kneden en tijdens de rijst verandert de consistentie vrijwel voortdurend. Tijdens het kneden spelen twee aspecten een belangrijke rol: vochtthoeveelheid en hoedanigheid van het eiwit. Veranderingen in de watertoevoeging zouden we in de deegconsistentie kunnen karakteriseren als stijf, soepel en slap. Door meer water toe te voegen verandert de consistentie van stijf via soepel naar slap. Veranderingen in het eiwit zijn goed gekenmerkt door het rijtje stug-standig-drijverig. Dat is een veel ingewikkelder verhaal. Tijdens het kneden verandert de hoedanigheid van het eiwit en daarmee ook dit aspect van de consistentie. Maar ook toevoegingen hebben daarop grote invloed. Zo maakt toevoegen van teveel ascorbinezuur een deeg stug en toevoeging van een protease of cysteine een deeg drijverig.

van andere factoren af zoals recept en proces. In de praktijk wordt het kneden meestal gestopt voordat de maximum consistentie is bereikt.

We hebben in figuur 1 twee kneedcurven afgebeeld, de bovenste is bij 30°C opgenomen, de onderste bij 20°C. Dat wil zeggen dat het hele kneedproces bij die temperatuur plaatsvindt. Tussen die twee curven zijn twee opvallende verschillen. In de eerste plaats het verschil in watertoevoeging. We hebben de maximale consistentie (dat is in dit geval de kracht die dan op het deeg wordt uitgeoefend) gelijk gehouden door met de watertoevoeging te spelen. Bij 30°C was ze 56%, bij 20°C 62%. Hieruit blijkt dat je om dezelfde consistentie te krijgen meer water moet toevoegen naarmate de deegtemperatuur lager is. Deeg wordt duidelijk slapper naarmate een deeg warmer is.

Een tweede belangrijk aspect is de ontwikkelingstijd. Bij 30°C was die 4 minuten, bij 20°C 9 minuten. De kneedtolerantie wordt dus groter naarmate het deeg kouder is. Dat effect wordt nog versterkt doordat het deeg na het maximum ook minder snel afslapt.

Technologie

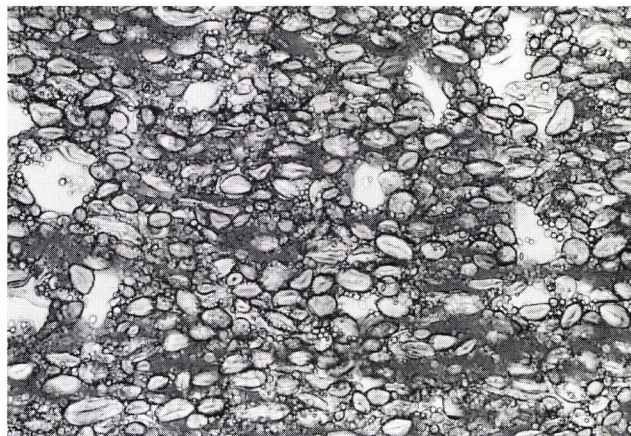
In het eerste kader zijn een paar series proeven beschreven die duidelijk maken hoe belangrijk kneden is. Als kort gekneet wordt, is het deeg ook kort, dat wil zeggen: het breekt bij rekken. Tijdens het kneden neemt de samenhang in het deeg toe. Uiteindelijk kunnen we van het deeg een vliesje trekken zonder dat dit scheurt. Als we daarna nog langer kneden, neemt de verwerkbaarheid van het deeg af: het deeg wordt kleverig. Meestal wordt dat in verband gebracht met overkneden. De broodkwaliteit neemt echter niet af als langer doorgekneet wordt. Daarom spreken we ook liever niet van een optimale kneedtijd. De ene bakker heeft een voorkeur voor een wat stijf en kort deeg en zal daarom betrekkelijk kort kneden bij een lage watertoevoeging. Een andere bakker zal aan die eigenschappen van een deeg minder betekenis hechten. Hij zal gewend zijn met een slapper en taaier deeg te werken. Vandaar dat we in de praktijk zulke grote verschillen in kneden aantreffen.

Bij deze kneedproeven is ook met twee verschillende intensiteiten gekneet. De vraag is uiteraard of dat voor de broodkwaliteit uitmaakt. Dat bleek uiteindelijk alleen het geval te zijn als een rijsp proces met één bolrijs werd toegepast. Dan won het intensief geknede deeg het van het minder intensief geknede deeg. (ook bij rijsonderbreking hebben we die ervaring.) Een ander opvallend verschil tussen intensief geknede en minder intensief geknede degen was de kleverigheid ervan. Bij langer doorkneden werden de intensief geknede degen kleverig en daardoor minder goed verwerkbaar. De minder intensief geknede degen, met ongeveer de intensiviteit van een conventionele kneder, bleven ook bij langer doorkneden tamelijk droog. Je vraagt je soms af wat een bakker zo'n vijftig jaar geleden onder overkneden heeft verstaan. Het bleek met de toen gebruikte kneders niet meer goed na te bootsen.

Microscopie

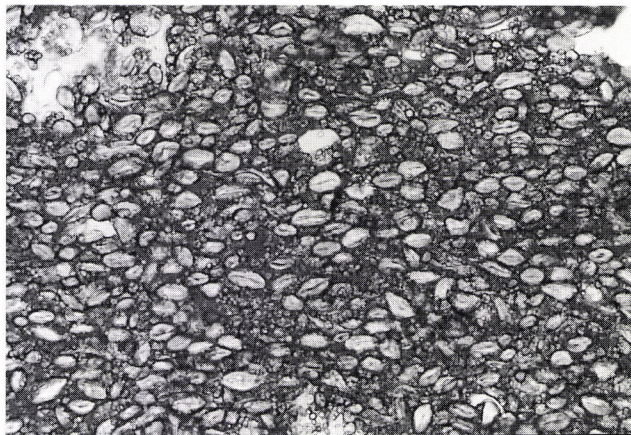
Een andere techniek om de structuur van een deeg te onderzoeken is microscopie. Een stukje diepgevroren deeg wordt met een microtome gesneden tot een plakje van 10-20 µm (1µm, micrometer, is gelijk aan 0,001 mm). Bepaalde stoffen in dat deegplakje zoals zetmeel, eiwit of vetten kunnen met een daartoe geschikte stof gekleurd worden. Voor eiwit is dat Ponceau rood.

Onder een microscoop kunnen we de verdeling van die



Figuur 2. Microscopische opname van een onderkneet deeg. Het eiwit is met kleurstof gekleurd. Dit is als donkere vlekken waarneembaar.

Figuur 3. Microscopische opname van een goed gekneet deeg. Het eiwit is veel beter verdeeld dan in figuur 2.



stof vervolgens nagaan. Op afbeeldingen 2 en 3 is dat gebeurd met een onderkneet deeg en met een goed gekneet deeg.

In het onderknede deeg zijn de flarden eiwit als donker gekleurde schollen goed zichtbaar. Daarnaast zijn grote gebieden minder sterk gekleurd; die bevatten dus minder eiwit. De grote hoeveelheid korrels die ook zichtbaar zijn, zijn de zetmeelkorrels. De grootte van de zetmeelkorrels is ongeveer 5 µm. Dat levert een goed aanknopingspunt om na te gaan wat de grootte is van de verschillende onderdelen. Tenslotte wijzen we ook nog op de wat grotere ongekleurde plekken. Dat zijn de luchtbelletjes. Door de geringe dikte van de coupe worden ze zichtbaar als gaatjes.

In het goed geknede deeg is de kleurstof, het eiwit dus, veel homogener over het deeg verdeeld. Er zijn nog wel nuances in kleur zichtbaar; in vergelijking met het onderknede deeg is dat verwaarloosbaar. Kennelijk heeft het kneden tot doel het tarwe-eiwit op microscopische schaal homogeen over het deeg te verdelen.

We hebben ook nog opnames gemaakt van een overkneet deeg. Die verschillen niet wezenlijk van opnames van het goed geknede deeg.

Chemische aspecten van glutenontwikkeling

In 1907 publiceerde de Amerikaanse chemicus Osborne de nog altijd veel gebruikte classificatie van tarwe-eiwitten op basis van oplosbaarheid: in de rij albumine, globuline, gliadine, glutenine neemt de oplosbaarheid

af. Vooral de laatste 20 jaren is veel onderzoek uitgevoerd naar de rol die gliadine en glutenine spelen bij de glutenontwikkeling.

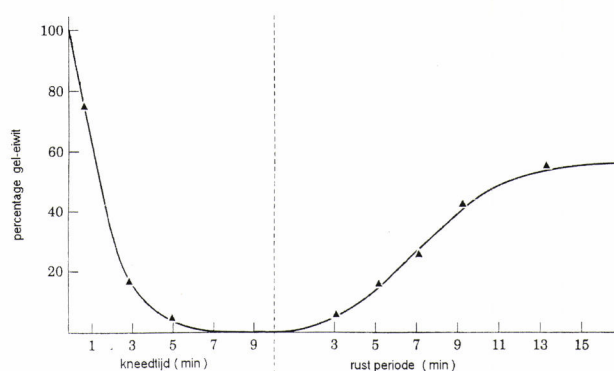
Eiwitten zijn macromoleculen of polymeren, dat wil zeggen dat ze zijn opgebouwd uit bouwstenen, die als schakels van een ketting aan elkaar vast zitten. De bouwstenen van eiwitten zijn aminozuren. De oplosbaarheid van een polymeer wordt, naast enkele andere factoren, vooral bepaald door de lengte van de ketting. Hoe langer de ketting des te lager de oplosbaarheid. Glutenine vormt de langste ketting van alle tarwe-eiwitten en is dus het minst oplosbaar. Ze kan zo'n ca. 250.000 aminozuurmoleculen bevatten. Of, om een andere maat te gebruiken: een glutenine molecuul is maximaal ca. 25.000.000 maal zo zwaar als een waterstofatoom. De massa van zo'n eiwit noemen we 25.000.000 Da (van Dalton). Het blijkt dat de hoeveelheid glutenine van een meel maatgevend is voor de bakwaliteit van dat meel.

Eén van de chemische manieren voor het scheiden van tarwe-eiwit naar molecuulgrootte is het gebruik van een natriumdodecylsulfate-oplossing, afgekort SDS. Dat is een zeepachtige vloeistof die veel gebruikt wordt om eiwitten in oplossing te brengen. Als tarwemeel in een SDS-oplossing wordt gesuspenderd lossen eiwitmoleculen kleiner dan ruwweg 6.000.000 Da op. Bij centrifugeren van het papje ontstaan drie lagen: een SDS-oplossing bovenin en een zetmeellaag onderin. Daartussen verzamelt zich het in SDS onoplosbare eiwit, dat dus groter is dan 6.000.000 Da. Dat vormt een gel en het wordt daarom ook wel gel-eiwit genoemd. Gel-eiwit en de glutenine-fractie van Osborne komen goed met elkaar overeen.

Waarom zo'n ingewikkeld verhaal? Het blijkt dat het gel-eiwit, het in een SDS-oplossing onoplosbare eiwit, tijdens het kneden langzaam verdwijnt. Metingen aan degen die met een laboratoriumkneeder zijn gekneet leveren een beeld op zoals in figuur 4 is afgebeeld. Verticaal is het percentage gel-eiwit afgebeeld, waarbij de hoeveelheid in bloem op 100 is gesteld. Horizontaal is de tijd gegeven, waarbij de kneedtijd na 10 minuten overgaat in een rusttijd.

De hoeveelheid gel-eiwit neemt tijdens het kneden gestaag af. Na een kneedtijd van ca. 10 minuten is al het eiwit oplosbaar in SDS geworden. Bij rust ontstaat weer gel-eiwit en na verloop van een kwartiertje is een groot deel van het gel-eiwit terug gevormd.

De verklaring daarvoor is dat tijdens het kneden de

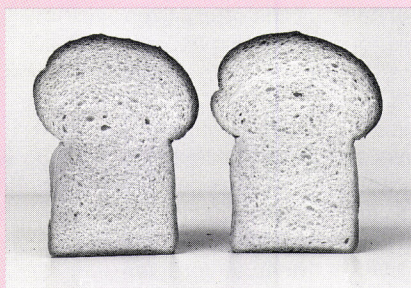


Figuur 4. De afbraak van geleiwit tijdens het kneden. Tijdens de rust wordt geleiwit teruggevormd.

grote glutenine macromoleculen worden afgebroken tot kleinere eenheden welke oplosbaar zijn in een SDS-oplossing. Bij het rusten van een deeg vormen die eenheden grotere moleculen die weer onoplosbaar worden in een SDS-oplossing.

Aan dit mechanisme van afbraak tijdens het kneden en opbouw tijdens rust wordt door velen grote waarde toegekend in verband met glutenontwikkeling. Door de afbraak tijdens het kneden en de opbouw tijdens de rust wordt een glutennetwerk verkregen met een goed gashoudend vermogen. Let wel, in deze theorie wordt het glutennetwerk pas gevormd als met kneden wordt gestopt. Het is een waardevolle aanvulling op de al eerder ontwikkelde theorie van de uitwisselingsreactie van disulfide-bridgen met thiolgroepen in eiwitketens.

Een paar kanttekeningen geven we hierbij. In de eerste plaats één over de oplosbaarheid. Dat het eiwit in SDS oplosbaar is geworden wil nog niet zeggen dat het ook wateroplosbaar is. Ook uit een deeg waarin het gel-eiwit tot nul is gereduceerd, kunnen we gluten wassen, een teken dat het nog steeds in water onoplosbaar is. Een andere opmerking geldt de uitvoering van de kneedproeven. Dit type experimenten wordt veel uitgevoerd in laboratoriumkneders met aan de proeven aangepaste, onvolledige recepturen. Het is de vraag of dit resultaat met een praktijkkneeder hetzelfde zou zijn. Het lijkt er in ieder geval op dat de afbraak overeenkomt met het kleveriger worden van deeg als wat lang intensief gekneet wordt. De terugvorming van gel-eiwit gaat in deze redenering samen met het opstijven van degen na het kneden.



Glutenontwikkeling zonder kneden?

Zoals al is gesteld heeft er bij de productie van brood een langzame maar zekere verschuiving plaats gevonden. Vroeger lag het accent veel meer op het rijsp proces dan nu. De vraag die we ons gesteld hebben is of we zonder of met weinig kneden en een ouderwets lang rijsp proces tot een goede broodkwaliteit kunnen komen. Dat bleek veel moeilijker dan we dachten. Uiteindelijk hebben we wel een redelijk bevredigend resultaat verkregen. Deeg is gekneet van een gangbare broodbloem en vet en suiker. Links volgens de huidige regels der kunst (goed en intensief gekneet, deegtemperatuur 27°C en een gangbaar rijsp proces). Rechts hetzelfde recept, maar alleen in de kruim gedraaid, deegtemperatuur 12°C. Het hele deeg is 12 uur bij 10°C bewaard. Daarna werd het deeg verdeeld en opgebeld en kreeg het twee

bolrijzen van 120 en 100 minuten bij 30°C. Dit deeg was aan het einde van het rijsp proces duidelijk standiger dan het gangbare deeg. Beide degen hadden ongeveer dezelfde ovenrijzen en gaven een kruimstructuur die elkaar niet veel ontlepen. Er waren drie opvallende verschillen in broodkwaliteit. De geur van het brood rechts was wat voller dan van het brood links. De kruim van het brood links was duidelijk witter dan van het brood rechts. Het meest opvallende verschil was er in de samenhang van de kruim. De kruim van het brood links, het goed gekneet deeg dus, had een veel betere samenhang dan die van het brood rechts. Dat was vooral na een dag bewaren goed merkbaar. Goed en intensief kneden is kennelijk nodig om een goed samenhangende kruim te verkrijgen.