

BULLETIN

EEN UITGAVE VAN HET INSTITUUT VOOR GRAAN, MEEL EN BROOD TNO DECEMBER 1988

Het TNO-kneedsysteem Automatisering van de deegbereiding

door C. A. E. Heddes

Het maken van brood begint met het kneden van deeg. Gebeurde dat vroeger met de handen en zelfs met de voeten, in deze eeuw heeft de kneedmachine dit zware werk overgenomen. De ontwikkelingen gaan echter verder. De huidige kneedmachines zijn onvergelijkbaar met de eerste types. Nu dient zich een volgende ontwikkeling aan: een kneedmachine, die wordt gestuurd door een computer. Velen in de bakkerij kijken met argusogen naar deze ontwikkeling. Opmerkingen als zou de computer de bakker-vakman overbodig maken, geven aan dat men schroomt bij het ingebruiknemen van een computer voor de produktie. We moeten echter wel bedenken dat de recept- en procesgegevens door een bakker-vakman in het geheugen van de computer moeten worden ingebracht. De computer voert slechts uit wat door de mens wordt ingevoerd. Ook bij computersturing blijft de bakker dus de baas.

Het Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO heeft in de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar de automatische besturing van de deegbereiding. Dit heeft geresulteerd in een systeem dat wij kortweg aanduiden met het "TNO-kneedsysteem". Het wordt gekenmerkt door een grote flexibiliteit, waardoor het niet alleen uitermate geschikt is voor toepassing in het grootbedrijf maar juist ook in het ambachtelijke bakkersbedrijf.

In dit bulletin worden de achtergronden van het kneden van deeg belicht. Voorts wordt ingegaan op de beheersing van de belangrijkste deegeigenschappen. Tenslotte wordt uit de doeken gedaan hoe het TNO-kneedsysteem werkt.

Voor een ongestoorde broodproduktie en voor een constante kwaliteit is het van groot belang dat degen de juiste eigenschappen hebben. Voor een vlotte verwerking zijn de consistentie en de temperatuur belangrijke eigenschappen. Voor de kwaliteit van het brood zijn het de temperatuur en de glutenontwikkeling.

De deegmaker heeft in de huidige bakkerij nog altijd een zeer grote invloed bij het sturen van de deegeigenschappen. Hij regelt de watertemperatuur, corrigeert de watertoevoeging en grijpt ook in als door te kort of te lang kneden de glutenontwikkeling niet optimaal is. Hij stuurt meestal op het gevoel. De ene deegmaker zal dat anders doen dan de andere. Maar

ook de manier waarop één en dezelfde deegmaker op zijn gevoel stuurt, zal van dag tot dag kunnen verschillen. Daardoor wisselen de eigenschappen van degen. De gevolgen kunnen zijn het optreden van storingen in de produktie en een wisselende kwaliteit van het brood.

Om constantere deegeigenschappen te verkrijgen is het wenselijk op een meer objectieve manier het kneden te sturen. Nog beter is het de gehele besturing automatisch te laten verlopen. Dat kan het beste door een procescomputer.

Het ligt voor de hand dat bij het automatiseren van de broodbereiding gestart wordt met het automatisch besturen van de deegbereiding. Het leidt tot constantere deegeigenschap-

Eisen voor een silo-installatie

Ook als men niet direct overgaat tot de aanschaf van een automatisch kneedsysteem, kan men bij het doen van investeringen toch al rekening houden met toekomstige ontwikkelingen naar een nieuw automatische besturing. Let daarom bij aanschaf van een silo-installatie, of delen ervan op de volgende punten:

- het besturingssysteem van de silo-installatie moet koppelaar zijn met een procescomputer.
- de weging in de weegbunker dient met behulp van drukdozen te geschieden. Drukdozen geven een elektrisch signaal dat gemakkelijk door een procescomputer verwerkt kan worden. Het signaal van een klassieke balans is niet zondermeer door een procescomputer te verwerken.
- het schaalbereik van de weegschaal dient tenminste

gelijk te zijn aan de grootste charge meel voor een kneeding. Bij de conventionele manier van werken is een kleiner schaal nog wel aanvaardbaar. Bij het werken met een procescomputer niet. De doseernauwkeurigheid moet 1% van de totale schaal zijn. Onder doseernauwkeurigheid wordt verstaan de nauwkeurigheid, waarmee een tevoren ingestelde hoeveelheid kan worden gedoseerd. Weegnauwkeurigheid 0,1% van de totale schaal. Onder weegnauwkeurigheid verstaan wij de nauwkeurigheid waarmee een eenmaal gedoseerde hoeveelheid meel wordt gewogen.

- in de weegbunker moet de temperatuur van het meel gemeten kunnen worden. Sommige installaties zijn al met een dergelijke meter uitgerust. Belangrijk is dat deze meting snel is. De temperatuur dient binnen enkele tientallen seconden bekend te zijn.

pen. Het gevolg is minder storingen in de produktie en een constantere broodkwaliteit. Bovendien is een verdere automatisering van de broodbereiding alleen zinvol als de degen constante deegeigenschappen hebben.

Belangrijke deegeigenschappen

Zoals al gezegd is, wordt het kneden in de bakkerij nog steeds bestuurd op het gevoel. Bij het ontwerpen van een systeem van automatische besturing moet dan ook allereerst worden nagegaan op welke waarnemingen het deegmaken wordt gestuurd. Die waarnemingen moeten wij vertalen in objectieve, meetbare grootheden. Vervolgens dienen wij na te gaan welke instrumenten gebruikt kunnen worden om die grootheden te meten. Dergelijke meetinstrumenten worden voelers of sensoren genoemd. Tenslotte zullen wij met behulp van deze sensoren de deegbereiding zo willen sturen dat de deegeigenschappen zo constant mogelijk zullen zijn. De drie belangrijkste eigenschappen, die wij willen beheersen zijn consistentie, glutenontwikkeling en temperatuur.

Consistentie

De consistentie of stijfheid van deeg is een tamelijk moeilijk te omschrijven grootheid. Het is een complex van elastische (veerkrachtige) en visceuze (vloeiende) eigenschappen. Ook de kleverigheid is een aspect van de consistentie van een deeg. Het verkrijgen van degen met een goede consistentie is vooral van belang bij de **mechanische verwerking**, bijvoorbeeld in verdeelmachines, opbollers en bollenkasten. Het beheersen van de deegconsistentie wordt goed benaderd door een besturing van de verhouding meel/water in het deeg. Dit gebeurt door het nauwkeurig wegen van de gedoseerde meelhoeveelheid en het daarop aanpassen van de waterhoeveelheid. Dit vereist goede weegapparatuur voor het meel en goede doseerapparatuur voor het water. Onze ervaring is dat verschillen in deegconsistentie tussen opeenvolgende partijen meel van eenzelfde soort betrekkelijk klein zijn. Bij goede meet- en weegapparatuur zal voor het verkrijgen van een constante consistentie de watertoevoeging in het recept slechts sporadisch moeten worden bijgesteld.

In het onderzoek van het IGMB-TNO is ook aandacht besteed aan de oorzaken van de schommelingen in de consistentie. Over perioden van maanden bleek de belangrijkste oorzaak van de schommeling de variatie in het vochtgehalte van partijen meel te zijn. Hoe lager het vochtgehalte van het meel was, des te hoger was de wateropname om een bepaalde consistentie te krijgen. Met andere woorden: bij een vaste watertoevoeging worden degen van meel met een laag vochtgehalte stijf en van meel met een hoog vochtgehalte slap. Het beheersen van de consistentie door het regelen van de vocht/drogestof-verhouding in deeg bleek een aanzienlijke verbetering ten opzichte van een regeling van de verhouding water/meel in deeg. Om dat zo te sturen, moeten wij van elke charge meel het vochtgehalte meten. Voor een be-

trouwbaar regeling dient dit meten van het vochtgehalte automatisch bij het doseren te gebeuren. De gegevens van deze meting worden vervolgens door een procescomputer verwerkt in de samenstelling van het deeg. Het in-line bepalen van het vochtgehalte van het meel is echter een vrij kostbare zaak. Het is in de nabije toekomst alleen weggelegd voor grote tot zeer grote bakkerijen. Voorlopig moeten wij het dus doen met de zogenaamde procenten-regeling voor de meel/waterverhouding.

Glutenontwikkeling

Een moeilijker begrip is de glutenontwikkeling. Tijdens het kneden wordt uit tarwe-eiwitten en deegwater een eiwitnetwerk gevormd. Daarin wordt het tijdens de rijs gevormde gas fijnverdeeld vastgehouden. De mate van glutenontwikkeling heeft vooral invloed op de **broodkwaliteit**: hoe beter de glutenontwikkeling, des te beter de broodkwaliteit. Daarnaast heeft de glutenontwikkeling invloed op de consistentie van het deeg: te kort geknede degen hebben de neiging drijverig te zijn, te lang geknede degen zijn vaak kleverig. Daardoor is de mate van glutenontwikkeling ook van belang bij de **verwerking** van deeg.

Ook voor de glutenontwikkeling geldt dat de sensorische waarneming moet worden omgezet in een objectief meetbare grootheid. Om dat te bereiken komen de resultaten van ons knederonderzoek van 1983 van pas. Wij vergeleken toen het kneden van deeg in zes veel gebruikte kneders. Bij de optimale kneedtijd van een gegeven deegsoort bleek de stijging van de temperatuur tijdens het kneden onafhankelijk te zijn van de soort kneder en nauwelijks afhankelijk van de vulningsgraad van de machine. In feite zeggen wij: de hoeveelheid wrijvingswarmte is een maat voor de glutenontwikkeling. Dat ligt ook voor de hand. Bij het kneden is vooral het wrijven van het deeg belangrijk. Het is duidelijk dat de wrijvingswarmte als een bepaalde temperatuurstijging wordt gemeten.

Bij onze automatische besturing van het kneden hebben wij deze temperatuurstijging als uitgangspunt genomen voor de glutenontwikkeling. Voor het gemak noemen wij deze temperatuurstijging Δt (delta t). Bij een gewenste deegtemperatuur volgt hieruit logischerwijs een aanvangstemperatuur: dat is de temperatuur van het mengsel van meel en water aan het begin van het kneden. Om die temperatuur goed te beheersen, moeten wij de watertemperatuur aanpassen aan de meeltemperatuur. Als wij zo willen werken is het noodzakelijk de meeltemperatuur goed te meten. De aanvangstemperatuur is vervolgens goed te beheersen door regeling van de watertemperatuur.

Temperatuur

De temperatuur is de enige grootheid die nu al objectief wordt gemeten. Een constante deegtemperatuur is van groot belang voor een goede beheersing van het verdere proces. De temperatuur van deeg heeft invloed op de **glutenontwik-**

Eisen te stellen aan een watermeng- en meetapparaat

Ook aan het watermeng- en meetapparaat kunnen eisen gesteld worden in verband met een latere uitbreiding tot een volledig automatisch kneedsysteem.

- Het waterdoseerapparaat dient een computeraansluiting te hebben, zodat het rechtstreeks aan een procescomputer kan worden aangesloten. Er zijn momenteel slechts weinig apparaten uitgerust met een dergelijke koppelingsmogelijkheid.
- Schaf eerst een waterkoeler aan. Een automatisch kneedsysteem heeft alleen zin als water van elke gewen-

ste temperatuur kan worden getapt.

- De nauwkeurigheid van de waterhoeveelheid dient $\pm 0,1$ l te zijn. Met deze nauwkeurigheid zijn charges van 10 kg meel nog goed automatisch te kneden. Is de nauwkeurigheid minder dan wordt de minimum chargegrootte, die nog goed automatisch gekneet kan worden, navenant groter.
- De temperatuur van het water dat naar de kneder gevoerd wordt mag maximaal $0,5^\circ\text{C}$ afwijken van de gewenste watertemperatuur. Grotere afwijkingen bieden een te grote onzekerheid bij het kneden.

keling en op de **consistentie**. Naarmate de temperatuur van het deeg hoger is, is de glutenontwikkeling groter en de consistentie slapper. Verder heeft de temperatuur een sterke invloed op de **rijssnelheid**. Deze neemt circa 10% per graad Celsius toe. Tenslotte is de deegtemperatuur ook van belang voor het **gedrag in rijkskasten**. Te warme deegstukken hebben de neiging uit te drogen, te koude deegstukken zullen de neiging tot kleven hebben.

De deegtemperatuur willen wij dus goed beheersen. Om dat te bereiken dienen wij het idee van kneden met een vaste kneedtijd los te laten. Bij een goede besturing van de begintemperatuur van het kneden heeft het voordeel het kneden te stoppen als de gewenste eindtemperatuur is bereikt. Er worden zo twee doeleinden bereikt. De degen krijgen de gewenste ontwikkeling, immers de temperatuurstijging was een goede maat voor de glutenontwikkeling. En ze hebben de gewenste deegtemperatuur.

Als we het kneden willen stoppen als de gewenste deegtemperatuur is bereikt, is het noodzakelijk de temperatuur van het deeg tijdens het kneden te meten. Dat kan in principe op twee manieren gebeuren. In kneeders, waarin een staaf in de kuip is gemonteerd, zoals een middenstaaf bij de Kemper spiraalkneder of een wandschraper bij een Diosna Wendelkneder, blijkt het meten van de deegtemperatuur goed mogelijk met een temperatuursensor in de staaf. Van groot belang is dat de sensor steeds contact maakt met het deeg. Het is dus zaak dat een dergelijke sensor zo laag mogelijk

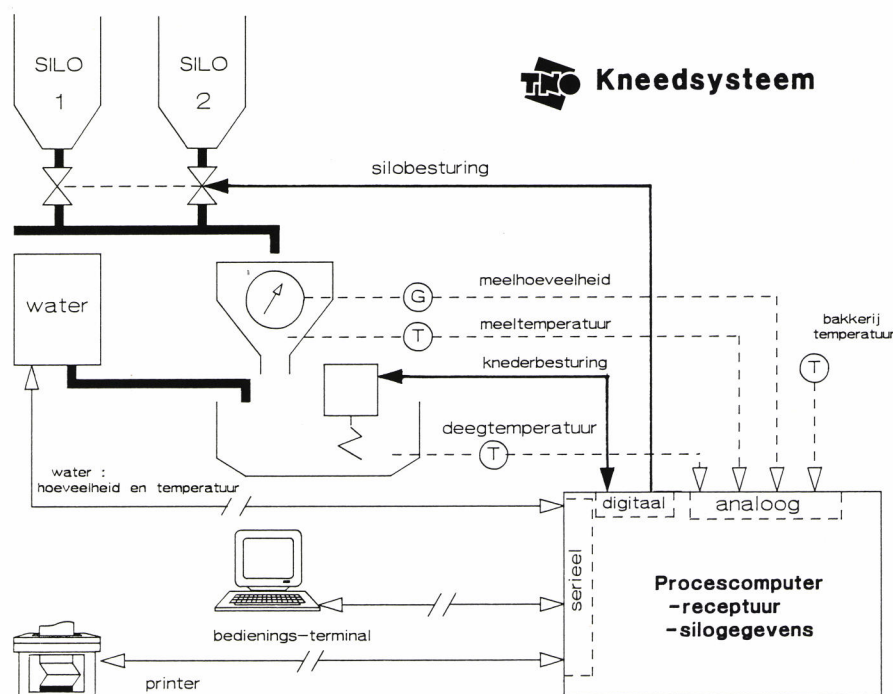
in de kneedkuip wordt geplaatst en zo dicht mogelijk bij de kneedarm. De meest gebruikte meetprincipes voor dit soort sensoren zijn op basis van weerstand (de weerstand in een draad is afhankelijk van de temperatuur) en op basis van halfgeleiding (de stroom door een halfgeleider is afhankelijk van de temperatuur).

In kneeders waarin het inbouwen van dit type sensoren problemen geeft, is het mogelijk de deegtemperatuur met een infrarood sensor te meten. Ook dat principe wordt wel toegepast. De infrarood sensor wordt zo op de kop van de kneder gemonteerd dat hij het deeg "ziet". Op die manier meten we de intensiteit van de infrarood-straling die het deeg uitstraalt. Die intensiteit neemt toe met de temperatuur. Het nadeel van deze methode is dat het de oppervlakte-temperatuur meet, die ook afhankelijk is van de bakkerij-omstandigheden, zoals temperatuur en relatieve vochtigheid.

Het voordeel van de infraroodmeting is zijn snelheid. Het geeft vrijwel momentaan de temperatuur aan, terwijl conventionele temperatuursensoren, vooral door hun behuizing, tamelijk traag zijn.

Samenvattend zeggen wij dus dat consistentie, glutenontwikkeling en temperatuur de belangrijkste deegeigenschappen zijn.

- de consistentie is vooral van belang bij de deegverwerking
- de glutenontwikkeling is vooral van belang voor de kwaliteit van het brood en in mindere mate voor de deegverwerking



Figuur 1 Receptgegevens voor een computer

meel	100
water	55
gist	2
zout	2

verbetermiddel	4
Δt	9 °C
deegtemperatuur	26 °C
drogestofgewicht	485
mengtijd	2 minuten

Eisen te stellen aan een kneder

In principe kan het TNO-kneedsysteem met elke bestaande kneder worden uitgevoerd. Bij aanschaf van een nieuwe kneder dient in het bijzonder gelet te worden op de volgende punten:

- De knedermotor moet koppelbaar zijn met de procescomputer. Dit is noodzakelijk voor het uitvoeren van een

bepaald kneedprogramma (langzaam, snel, draairichting kneedarm en kuip) en voor het afslaan als een bepaalde deegtemperatuur is bereikt.

- De kneder dient uitgerust te zijn met een temperatuurvoeler. Deze kan ingebouwd worden in een staaf als de kneder daarmee is uitgerust. Anders kan een infraroodvoeler gebruikt worden.

- de temperatuur is van belang voor zowel de deegverwerking als voor de broodkwaliteit.

Het TNO-kneedsysteem

Zo hebben we een systeem van deegkneden ontwikkeld dat gebaseerd is op drie grondslagen:

- het nauwkeurig wegen van meel en daarop sturen van de watertoevoeging, goede en betrouwbare voelers voor het meten van de verschillende temperaturen,
- het toevoegen van water met een temperatuur die berekend is op grond van de temperatuurstijging tijdens het kneden, de gewenste deegtemperatuur en de gemeten temperatuur van het meel, en
- het stoppen met kneden als de gewenste deegtemperatuur is bereikt, in plaats van kneden met een vaste kneedtijd.

Om dit zonder tussenkomst van de deegmaker uit te voeren, is het noodzakelijk de receptuur van de verschillende broodsoorten in het geheugen van een procescomputer op te slaan. In figuur 1 is een voorbeeld van een recept gegeven. Naast de gebruikelijke receptgegevens zijn ook de Δt en de deegtemperatuur in het recept vermeld. Uiteraard dient de Δt zodanig gekozen te worden dat de kneedtijd ongeveer overeenkomt met wat handgestuurd ook gebruikelijk was. Dit zal voor elk deeg proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. Een aanpassing kan nodig zijn bij bijvoorbeeld een nieuwe oogst of bij overgang naar een andere meelleverancier. Bovendien bevat het recept een drogestofgewicht, dat bijvoorbeeld op 485 gezet kan worden. Op grond van het recept berekend de procescomputer het afweeggewicht. Veranderingen in het recept worden zo automatisch vertaald in een ander afweeggewicht.

De besturing gaat als volgt. Men roept een bepaald recept op uit het geheugen van de procescomputer. Men geeft vervolgens de hoeveelheid meel voor een deeg aan. Als er een koppeling is tussen silo, weegbunker en waterdoseerapparaat verloopt de besturing verder automatisch. Dit is in figuur 2 schematisch weergegeven. De procescomputer geeft het signaal aan de silo om meel naar de weegbunker te transporteren. Als voldoende meel in de weegbunker aanwezig is, wordt via de procescomputer de meeldosering gestopt. Het werkelijke gewicht wordt gelezen en de procescomputer berekent op grond van het recept de toe te voegen hoeveelheid water. In de weegbunker wordt de temperatuur van het meel met behulp van een temperatuurvoeler gemeten, waarna door de procescomputer de temperatuur van het deegwater wordt berekend. De procescomputer geeft vervolgens het signaal aan het watermengapparaat dat de gewenste hoeveelheid water van de berekende temperatuur levert.

Het starten van de kneder gebeurt door de bakker met de hand. Het afslaan van de kneder gebeurt daarentegen automatisch door de procescomputer als de in het recept opgenomen temperatuur is bereikt.

Uiteraard is het mogelijk de automatisering in fasen uit te voeren. Men kan beginnen met het plaatsen van een temperatuursensor in de kneedkuip. Daarna kan de koppeling met een procescomputer met receptgegevens worden gerealiseerd. Tenslotte volgt de automatische sturing van het watermeng- en meetapparaat.

Automatisering op produktniveau

Bij de meeste vormen van procesautomatisering, die momenteel worden toegepast, wordt bestuurd op machineniveau. Dat wil zeggen dat de machine voor elke deegsoort een vastevoren in de procescomputer vastgelegde instelling krijgt. Daarbij is geen rekening gehouden met eventuele wisselingen in produkteigenschappen, zoals verschillen in temperatuur, rijs, grootte etc. Voorbeelden van dergelijke machines zijn computer-gestuurde rijskasten, opmaakmachines, rijs/remkasten en roterende wagenovens. Deze vorm van besturing kan uitstekend werken als de eigenschappen van de producten weinig wijzigingen ondergaan. Met deze vorm van automatisering in de bakkerij is een zeer grote vooruitgang in het beheersen van het proces van de broodbereiding verkregen.

De wijze van procesbeheersing die in het voorgaande is beschreven gaat veel verder. Het kan het beste beschreven worden met automatisering op produktniveau. Bij automatisering op produktniveau worden met behulp van sensoren de eigenschappen van producten gemeten (zoals in ons geval de deegtemperatuur) en wordt met die eigenschappen de machine gestuurd. Er vindt dus een voortdurende aanpassing plaats aan schommelingen in produkteigenschappen. Bij het TNO-kneedsysteem vinden zo drie automatische aanpassingen plaats.

- In de eerste plaats vindt aanpassing plaats aan de grootte van het deeg. In het kleinbedrijf wisselt de grootte van de charges nogal eens. Een veel gehoorde klacht is, dat daardoor degen ontstaan met zeer wisselende eigenschappen. Kleine degen worden soms te lang gekneet en zijn vaak te warm, terwijl dat bij grote degen juist andersom ligt.

Bij de nu beschreven manier van besturen wordt de duur van het kneden automatisch aan de chargegrootte aangepast. Het maakt het systeem bijzonder geschikt voor toepassing in het kleinbedrijf.

- In de tweede plaats vindt aanpassing plaats aan de intensiteit van de kneder. In bedrijven, waar meer kneders één produktielijn van deeg voorzien, ontstaan vaak verschillen in broodkwaliteit door verschil in kneedwerking tussen de kneders. Met kunst en vliegwerk worden deze verschillen meestal gecorrigeerd. In het TNO-kneedsysteem vindt een automatische aanpassing plaats aan de intensiteit van de kneders: het intensiever knedende exemplaar gaat automatisch korter kneden dan zijn minder intensief knedende buurman. Daardoor worden de eigenschappen van de degen uit de verschillende kneders min of meer gelijk. Dit maakt het systeem geschikt voor de grotere bedrijven, waar de hier beschreven situatie veel voorkomt.

- Tenslotte vindt ook aanpassing plaats aan de consistentie van de degen. Verschillen in consistentie ontstaan door verschillen in waterabsorptie van partijen meel en door afweegen meetfouten. Bij het kneden houdt het systeem rekening met deze consistentieverschillen. Slappere degen worden wat langer, stijvere degen worden wat korter dan normaal gekneet. De ervaring in de praktijk is dat daardoor de schommelingen in deeeigenschappen en in produktkwaliteit kleiner worden. Bij een grote afwijking van de normale consistentie dient uiteraard het recept bijgesteld te worden.

Het Instituut adviseert bij het doen van investeringen. Het is behulpzaam bij het opstellen van een plan van eisen en bij het kiezen van apparatuur, het houdt toezicht bij het installeren en assisteert bij het in gebruik nemen.

Inlichtingen:

Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO
Postbus 15
6700 AA WAGENINGEN
Telefoon 08370-99234
Telefax 08370-21221