

Faldtal

Notat af Anders Borgen

Indledning - bagningens biokemi

Når talen går om bagekvalitet i hvede, så snakker man ofte om gluten og protein. Korn består primært af protein og stivelse, og selvom gluten er vigtig for melets bageevne, så er stivelsen mindst ligeså vigtig som proteinet. Den vigtigste parameter for stivelsens kvalitet i mel er melets faldtal.

Stivelse består af lange kæder af suktermolekyler. I korn ligger stivelsen som stivelseskorner, som er små klumper af sammenrullede stivelseskæder. Når man putter mel i varmt vand, så bliver vandet tyktflydende. Det er det, man udnytter, når man jævner en sovs. Fænomenet skyldes, at stivelsen opløses i vandet, og når opløst stivelse opnår en vis temperatur, så vil de lange kæder gribe fat i hinanden og danne et netværk i vandet på kryds og tværs, som bremser vandets frie bevægelse i gryden. Det er det fænomen, som kaldes gelatinering, og det udnyttes mange steder i madlavningen.

Når man bager et brød, så blander man først mel, vand og nogle mikroorganismer i form af gær, surdej e.lign. Når mikroorganismene i denne situation har vand og næring til rådighed, vil de forbrænde sukkerstofferne i melet og omdanne det til bl.a. CO₂ og vand. Når brødet kommer i ovnen, så vil luftboblerne af CO₂ blive varme, hvorved de udvider sig. Derved hæver brødet. Når brødets temperatur stiger til over 80°C, så gelatinerer stivelsen, og fastholder derved brødets form. Inde i brødets krumme er der masser af vand, så her kan temperaturen aldrig blive over 100°C, men på overfladen af brødet fordamper vandet, og når vandet er væk kan den blive meget varmere, og størkner derfor til en fast skorpe, som stivelsesnetværket i krummen fæstner sig til. Derfor forbliver brødet hævet og holder sin form også efter at temperaturen igen falder, når man tager brødet ud af ovnen.

Når et korn spirer, så skal der bruges sukker som energi, og kornet har derfor nogle enzymer, som klipper stivelseskæderne over i mindre stykker. Det vigtigste enzym er α -amylase. Amylase var det første enzym, som blev opdaget, og enzymaktiviteten blev påvist allerede af Kirchoff i 1811. Hvis stivelsen er klippet over i mindre stykker, så er det klart, at evnen til at danne netværk bliver dårligere. Bager man et brød af korn, som er begyndt at spire, så vil det hæve i ovnen og danne skorpe på samme måde som almindeligt korn, men stivelsesnetværket inde i krummen vil være svagere, og når man tager brødet ud af ovnen, så vil skorpen ofte holde sin form, men krummen inde i brødet vil falde sammen til en grødagtig masse i bunden af brødet, og der dannes i stedet en luftlomme lige under skorpen. Det er træls!



Figure 1: Sandkager bagt af mel med faldende faldtal

Når amylase enzymerne nedbryder stivelsen, går stivelseskornene i opløsning, hvilket har samme effekt, som når stivelseskornene beskadiges under formaling. Det betyder, at melet bliver klisteret, hvilket yderligere har negativ effekt på bagekvaliteten.

Bageren er altså interesseret i at undgå mel med lavt faldtal, men omvendt kan faldtallet også blive for højt. Hvis faldtallet er meget højt, så kan dejen blive så stram, at luftboblerne inde i dejen ikke kan hæve brødet. Det er den samme oplevelse, man får, hvis man bager med mel med et højt indhold af meget stram gluten. De to ting hænger nogle gange sammen, da korn importeret fra varme tørre lande ofte har både højt faldtal og højt gluten-indhold. Det kan let

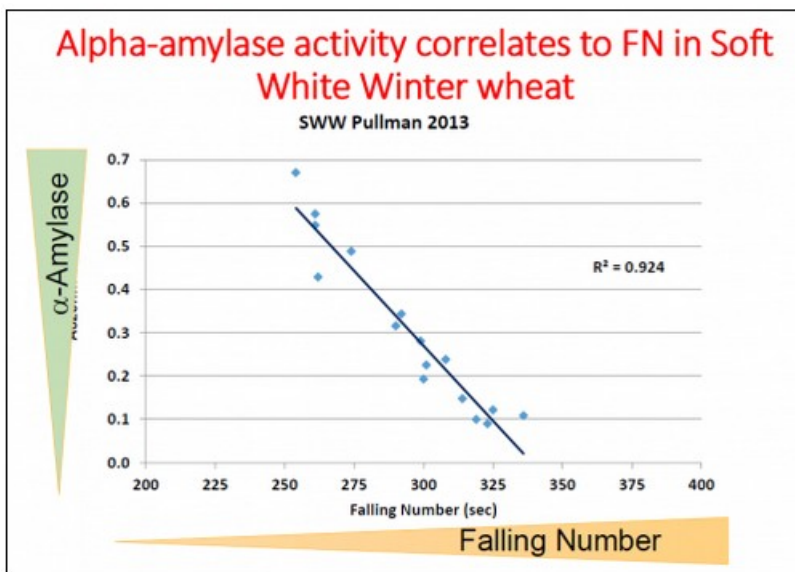


Figure 2: Der er som regel en snæver sammenhæng imellem faldtal og indholdet af amylase.

løses ved at blande mel i dejen med et lavere faldtal, men det er vigtigt at forstå, at faldtallet primært styres af amylase, som er et enzym. Amylasen vil nedbryde stivelsen, og det er stivelsens egenskaber, som har betydning for faldtallet. Derfor kan blot en lille smule amylase fra mel med lavt faldtal få faldtallet til at falde i en stor portion af mel med højt faldtal. Omvendt vil mel med meget nedbrudt stivelse også have lavt faldtal, men det vil ikke påvirke på samme måde, hvis blot indholdet af amylase er lavt. Man ved normalt ikke, om et lavt faldtal skyldes meget nedbrudt

stivelse eller om det skyldes et højt indhold af amylase, som vil nedbryde stivelse. Derfor kan man ikke sætte retningslinier op for, hvordan man skal blande mel med højt og lavt faldtal. Kun at man skal være meget forsigtig med at gøre det.

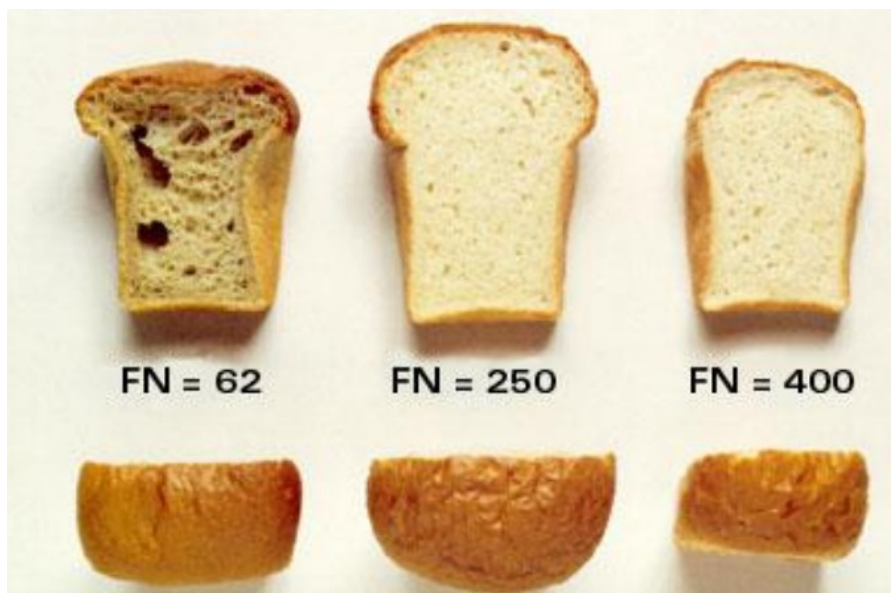


Figure 3: For lavt faldtal giver store huller i brøddet, men for højt faldtal hæmmer hævnningen, fordi dejen bliver for stram

Stivelse består af en blanding af amylose og amylopektin. Amylose er næsten uforgrenede strenge af sukkerkæder, mens amylopektin er mere forgrenede kæder. Jo mere

forgrenede sukkerkæderne er, jo lettere nedbrydes de af amylasen, hvilket har betydning både for faldtallet og for ernæringen. Ris med et højt indhold af amylopektin vil hurtigere koge ud, og bruges derfor til grødris eller til risotto. De kaldes på engelsk *sticky rice* eller *waxy type rice*. I korn med lavt indhold af amylopektin og højere indhold af resistent stivelse omdannes stivelsen ikke så

hurtigt til sukker, hvilket giver et mere stabilt blodsukker, som er bedre til at forebygge type-2 diabetes.

Når man taber skeen ned i sovsen, så vil skeen falde hurtigt til bunds i en tynd sovs, og langsommere i en tyk sovs. Man kan altså beskrive sovsens viskositet ved at måle den hastighed, som skeen falder til bunds. Det er lige præcis det man gør, når man måler kornets faldtal. Man putter en bestemt mængde mel i en mængde vand, og måler hvor mange sekunder et standardlod er om at falde til bunds. Et faldtal på 300 er altså et udtryk for, at det tager 300 sekunder for loddet at synke til bunds i en sovs, som er lavet efter en bestemt opskrift. Faldtallet måles i et særligt faldtalsapparat, og udtrykker melets evne til at danne et stivelsesnetværk.

Faldtallet påvirkes af både dejens indhold af salt og pH-værdien af dejen, idet både salt og syre får faldtallet til at stige, og der er en synergistisk effekt af de to, så effekten af salt er større, jo mere sur dejen er.

Spiring og spirehæmning

Fra naturens hånd skal kornet udvikle sig i akset, og når det er modent skal det falde ned på jorden, hvor det skal spire, når det regner. Det skal ikke spire oppe i akset, hvor der ikke er noget jord at vokse i, og det skal ikke begynde at spire før det er færdigudviklet og modent. Derfor er det en række forskellige mekanismer, som forhindrer spiring i akset.

I overfladen af kernen ligger klidlaget, og heri er der phenoler, som ved tilstedeværelse af ilt polymeriserer, og bliver brune. Derfor er hvedekerner normalt lysebrune. Det er de samme stoffer, som får et æble eller en banan til at blive brune, når man skærer dem over. Når phenolerne polymeriserer forbruger de ilt, og på den måde forhindrer de ilt i at komme ind i kernen, og da kernen skal bruge ilt til at spire, så hæmmer de de spiringen. Phenolerne er således antioksidative. I det såkaldte hvid hvede er der færre phenoler i klidlaget, så derfor er kernerne lysere, men de har også større tendens til at spire i akset. Phenolerne har en bitter smag, hvilket er med til at give karakter til fuldkornsbrød. Den bitre smag er samtidig med til at gøre kornet mindre attraktivt for fugle og mennesker at spise. Kulturplanter især af moderne forædlede sorter indeholder generelt kun få bitterstoffer, og meget tyder på, at den moderne kost indeholder for få bitterstoffer. Bitterstoffer og andre antioksidanter som polyphenoler er derfor generelt sunde at spise, da de også i den menneskelige organisme er kemisk aktive, og bl.a. kan reducere frie radikaler, som kan forårsage kræft og andre ubehageligheder.

Der er mange, som gerne vil spise de næringsrige kerner, og for at fordøje stivelsen skal der tilsættes den samme α -amylase som kornet selv bruger under spiringen til at spalte stivelse til sukker. Kornet har derfor udviklet en forsvarsmekanisme til at blokere både α -amylase og proteaser, som er de enzymer, der nedbryder proteiner. Disse stoffer, som forhindrer enzymerne i at virke, kaldes inhibitorer, og samlet set betegnes de ofte ATI, som er en forkortelse af α -amylase-trypsin-inhibitorer. ATI er altså stoffer, som skal beskytte plante imod at blive spist, og som samtidig hæmmer spiring i akset. Ligesom polyphenolerne har ATI også en funktion i organismen ved at hæmme fordøjelsen af både proteiner og kulhydrater. Nogle forbrugere har problemer med fordøjelse af hvede og især af hvedens indhold af fruktan, som er et tungt fordøjeligt kulhydrat. Forbrugere, som har problemer med at fordøje fruktan og andre såkaldte FODMAPs lider af forstoppelse eller IBS (Irritable Bowl Syndrome) og udgør 5-11% af befolkningen i de fleste lande. Et højt indhold af ATI i korn er med til at forstærke problemerne med at fordøje FODMAPs, og i

øvrigt også andre former for gluten- og hvedeintolerance, og kan afhjælpes ved hvedesorter med lavt indhold af ATI eller ved langtidshævning af brød med surdej, hvor ATI nedbrydes.

I kernen og især i klidlaget findes en del mineraler, som planten skal bruge i forbindelse med spiring, men for at forhindre udvaskning af mineraler og for at forhindre mennesker og andre i at få adgang til disse næringsstoffer, så er mineralerne bundet i fytinsyre, som er en kompleksbinding, der gør mineralerne utilgængelige. I klidlaget er der endvidere fytase, som er et enzym, som nedbryder fytinet, når der er adgang til vand. Fytin-binding af mineraler indgår på denne måde også i spirehæmningen i kernen og opretholder faldtallet indtil vand og fysate nedbryder fytinet. Fytinet har i sig selv også en hæmmende effekt på amylase-aktiviteten. Rækkefølgen er følgelig den, at først nedbrydes fytinet af fytase, hvilket sker efter allerede efter nogle timer i vand, og herefter nedbryder amylasen stivelsen, som får faldtallet til at falde.

Også indholdet af fytin i kernen har ernæringsmæssige konsekvenser, idet mineralerne i kornet ikke er tilgængelige, før fytinet er nedbrudt, og det tager tid. Da kvalitetsmel altid har højt faldtal, vil fytinet aldrig være nedbrudt, og også derfor er langtidshævning eller iblødsætning af korn og kerner vigtig for ernæringen for at forhindre mineralmangel. Selvom korn og kerner generelt har et højt indhold af mineraler, så passerer de stort set ufordøjet gennem fordøjelsessystemet, hvis eksempelvis dejen hæves på en time eller derunder, som er det normale i brødisindustrien for både gær- og surdejshævede brød. Det samme forhold gør sig gældende for foder til vore husdyr, hvor man i konventionelt landbrug tilsætter syntetisk fytase for at kompensere for den manglende iblødsætning af foderet, som var kutyme i gamle dage. Manglende nedbrydning af fytin giver en dårlig udnyttelse af mineraler såsom fosfor, og fosforureningen af vandmiljøet fra især svineproduktionen hænger netop sammen med den dårlige udnyttelse af mineraler som følge af ikke nedbrudt fytin i kornets klidlag.

Der findes forskellige i kornets indhold af både fytin og fytase, som man i dag forsøger at udnytte til at forbedre mineraludnyttelsen i foderet og begrænse næringsstofforureningen, men til brødhvede og andre anvendelser i fødevarerindustrien skal man altså være opmærksom på, at et kan have negative konsekvenser for faldtalsstabiliteten.

I starten af kernens udvikling har kernen et højt indhold af amylase, da kernen bruger sukker til syntese af forskellige stoffer. På dette stadie er der dog ikke risiko for spiring i akset, da kernen er i fuld frøhvile. Høster man kornet for tidligt, hvor der stadig er grønne kerner, vil man derfor få problemer med for lavt faldtal selvom det ikke er udtryk for begyndende spiring. Når kornet mister den grønne farve og begynder at modne, falder indholdet af amylase og faldtallet stiger. Hvis kernen under eller efter modningen udsættes for regn, vil amylasen begynde at nedbryde stivelsen som den første fase af spiringsprocessen, og dermed falder faldtallet. Spirehæmmende mekanismer kan begrænse nedbrydningen af stivelsen i kerne, også selv om det regner efter modningen af kernen, men især hvis det samtidig er både koldt og fugtigt, vil stivelsen på et tidspunkt blive nedbrudt og faldtallet vil falde.

Hvis kernen udsættes for store temperatursvingninger efter modningen, kan indholdet af amylase stige igen. Især kuldechock ved eksempelvis høje dagtemperaturer og lave nattemperaturer igangsættes dette fænomen, som man kalder LMA (late-maturity alpha-amylase), og forårsager også lavt faldtal selvom kernen ikke udsættes for fugt, og ikke er begyndt en spiringsproces. Korn med et højt relativt indhold af amylopektin i forhold til amylose er mere udsat for LMA, men LMA ses især i syntetisk hexaploid hvede. Især i 1990'erne forekom det en del i Europæiske hvedesorter efter

at man begyndte at krydse hvedesorerne med syntetiske hvedesorter. Der er ikke umiddelbart nogen forklaring på den biologisk funktion af LMA, da nedbrydning af stivelse ikke giver meget mening for planten på et tidspunkt, hvor planten burde bruge sin energi på syntese. LMA betragtes derfor forædlingsmæssigt som en genetiske fejl.

Kornaks af forskellige sorter har forskellig morfologi. Sorter med stak vil have vanskeligere ved at tørre ud, fordi stakken danner læ omkring akset, og kan opsnappe dug, som vil løbe ned ad stakken og ned i akset. Derfor er de fleste sorter lande med fugtigt klima stakløse, mens hvede i lande med mere tørt klima ofte har stak. Stakken gør endvidere kornet mindre attraktivt for vildsvin og andre skadedyr, så derfor støder man også i fugtige klimaet på sorter med stak.

Hvedeplanten har ofte et blåligt skær, som skyldes et vokslag, som ligger udenpå de ellers grønne blade. Der findes dog voksløse hvedesorter, som ser mere friskgrønne ud i farven. Vokslaget er med til at beskytte planten imod vand, og dermed imod spiring i akset.

I spelt sidder avnerne meget fast omkring kernen, men også indenfor almindelig hvede er der forskel på, hvor åbent akset er, og et åbent aks have mere tendens til spiring i akset end et aks med mere tætsiddende avner.

Korn er designet til at udgå spiring i akset og midt på sommeren, hvor det er varmt og kernen risikerer at tørre ud, men at udsætte spiringen til efteråret, når der bliver køligt og fugtigt. Opbevares korn derfor i lang tid og især ved høj temperatur, så nedbrydes amylasen gradvist.

Nyhøstet korn med højt faldtal vil stadig have spirehvile, og vil ikke spire så hurtigt som lagret korn eller korn med lavt faldtal. Spirehvilen kan ophæves ved lagring. Ved varm tør lagring vil det tage lang tid at ophæve spirehvilen fra to uger og helt op til et år. Lagres det derimod koldt og især i kombination med fugtighed vil spirehvilen ophæves meget hurtigt. Når landmanden sår kornet i den kolde jord om efteråret, oplever han derfor ofte slet ikke, at kornet er i spirehvile, men hvis han derimod sår meget tidligt, mens jorden er varm, så kan spirehvilen godt have betydning for fremspirings hastigheden.

For planten og for landmanden er der således en lang række faktorer, som skal spille sammen for at sikre, at kernen ikke spirer for tidligt, mens kernen stadig er i akset, men samtidig ikke hæmmer spiringen så meget, at kornet ikke spirer ordentligt, når det bliver sået i jorden. Det hele handler om at finde den rette balance for det aktuelle klimaforhold imellem alle de forskellige forhold, som fremmer og hæmmer spiringen.

Hvad kan man gøre for at sikre et højt faldtal?

Det vigtigste værn imod lavt faldtal er rettidig høst....

Faldtallet er ikke direkte relateret til næringsstofforsyningen, men inddirekte kan det have en effekt. Højt kvælstofniveau øger risikoen for lejesæd, som kan påvirke faldtallet, og omvendt styrker kalium stråstivheden, så mangel på kalium kan bidrage til lejesæd. I forhold til faldtal er det dog mest uens næringsstofforsyning, som kan give uens høstoptimum, og da man i økologisk landbrug generelt har mere uens marker, kan økologisk korn af denne grund være mere faldtalsfølsom end konventionelt korn.

I både USA og Australien er resistens imod både aksspining og LMA en standardoplysning for sortsbeskrivelserne, men det er svært at få oplysninger om faldtalsstabilitet for sorterne på den danske sortsliste.

Kornets faldtal vil udvikle sig under lagring, hvis kornet har et højt indhold af amylase. Amylase nedbrydes under lagring, især ved lagring over 25 C°. Hvis faldtallet derimod skyldes, at kornet allerede er begyndt at spire, så vil lagring ikke have samme effekt, da den nedbrudte stivelse ikke bindes sammen igen under lagringen.

Når stivelsen nedbrydes, vil den omdannes til sukker, som fylder mere. Derved vil spirede kerner blive relativt lettere, så en frasortering af lette kerne kan i nogle tilfælde hæve faldtallet. Det vil dog ikke kunne lade sig gøre, hvis et lavt faldtal skyldes højt indhold af amylase uden begyndende spiring. Det vil også kun have effekt, hvis der er tale om få spirede kerner i et ellers godt parti. Det kan eksempelvis være tilfældet, hvis der i marken har været lejesæd, hvor planter på jorden er begyndt at spire, mens kernerne i de stående planter er uspirede. Hvis spiringen skyldes, at hele partiet er ensartet begyndt at spire, vil en frasortering af lette kerne ikke have den samme effekt.

Hvis et lavt faldtal skyldes en for tidlig høst eller høst af en uensartet modnet afgrøde, så kan en farvesortering i nogle tilfælde hæve faldtallet, hvis man på den måde kan fjerne grønne kerner med højt indhold af amylase. I sporene efter en gyllevogn eller i lavninger, kan der ofte være planter, som modner senere end resten af marken.

Stivelsen i kernen kan analyseres ved at lyse gennem kernen med nær-infrarødt lys (NIT). Der fås nu udstyr, som kan sortere kerner efter deres NIT-spektrum. Det bruges primært til at sortere på proteinindhold, men med den rette kalibrering kan det også sortere på stivelse. Det er sandsynligt, at NIT-sortering primært har effekt på at fjerne spirede eller grønne kerner, og mindre effekt overfor LMA.

BoMill Sorted Wheat Fractions by Protein & Resultant Falling Numbers

Create Uniform High Quality Wheat for milling superior flour to meet **consistent and repeatable** baking performance

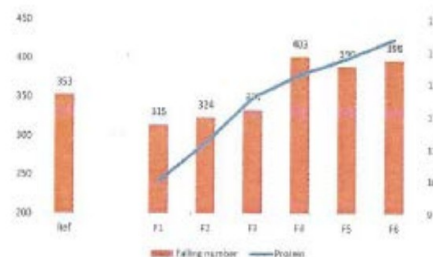
Produce wheat with favorable Falling Number values not achievable through blending



FALLING NUMBER / PROTEIN

Customer X (Vitреousness sorting)

	Protein	Faling number	Germination
Ref	13	353	80
F1	10	315	84
F2	11,2	324	80
F3	12,6	334	86
F4	13,3	403	78
F5	13,8	390	84
F6	14,4	398	90



Differences in seed dormancy explain 60–80% of the variation in pre-harvest sprouting susceptibility (DePauw and McCaig 1991).

There are two main causes of low FN: preharvest sprouting and late-maturity alpha-amylase (LMA) (Lunn et al., 2001; Mares et al., 2014).

Several major loci providing increased grain dormancy and PHS resistance have been mapped or cloned in wheat, providing molecular markers for breeding (Forfana et al., 2008; Munkvold et al., 2009; Nakamura et al., 2011; Liu et al., 2013; Torada et al., 2016).

Research suggests that FN increases during storage, apparently because the alpha-amylase enzyme becomes less active over time (Gras et al., 1994; Karaoglu et al., 2010; Ji and Baik, 2015).

With five months storage, Ji and Baik (2016) saw approximately a 25-second increase at 73°F/23°C and a 35-second increase at 95°F/35°C. Another study showed about a 50-second increase with three months storage at 104°F/40°C but no significant increase after three months storage at 68°F/20°C (Adams, 2015; A. Ross, personal communication).

Evaluating PHS Tolerance in the greenhouse reduces problems by making sure all wheat is 5 days past physiological maturity.



- Harvest spikes from field at physiological maturity
- 5 spikes per plot, 3 plots per line
- Allow to after-ripen in a dry place at room temperature for 5 days (longer if grains are very dormant).
- Wrap spikes in plastic, store at -15C until experiment, when all of the spikes have been harvested and AR'd.
- Misted: 6 sec / 1 min under a fine misting system
- Score for 7 consecutive days