



*History of Science Department*  
*University of Aarhus*

**ANITA KILDEBÆK NIELSEN**

**Bedre brød til folket  
pH-begrebets anvendelse i gæringsindustrien,  
især i forbindelse med brødbagning**

*Hosta, No. 3, 2000*

*Work-in-Progress*

Hosta (History Of Science and Technology, Aarhus) is a series of publications initiated in 2000 at the History of Science Department at the University of Aarhus in order to provide opportunity for historians of science and technology outside the Department to get a glimpse of some of the ongoing or recent works at the Department by researchers and advanced students. As most issues contain work in progress, comments to the authors are greatly valued.

Publication is only made electronically on the web site of the Department ([www.ifa.au.dk/ivh/hosta/home.dk.htm](http://www.ifa.au.dk/ivh/hosta/home.dk.htm)). The issues can freely be printed as pdf-documents. The web site also contains a full list of issues.

ISSN: 1600-7433



History of Science Department  
University of Aarhus  
Ny Munkegade, building 521  
DK-8000 Aarhus C  
Denmark

# Bedre brød til folket – pH-begrebets anvendelse i gæringsindustrien, især i forbindelse med brødbagning.

## Indledning

S.P.L. Sørensen blev i 1900 forstander for Carlsberg Laboratoriets kemiske Afdeling. I Carlsbergfondets fundats fra 1876 havde indstifteren, brygger J.P. Jacobsen (1811-1887), gjort klart, hvad formålet med det et år tidligere oprettede Carlsberg Laboratorium var. Det skulle ikke være en bryggerskole for folk uden uddannelse, men tværtimod en grundforskningsinstitution med vide rammer. Dog sås det gerne, at laboratorieforstanderne også “ved Studier og Arbejder i Laboratoriet uddanne[de] sig i de særlige Retninger af Videnskaben, som har Betydning for Ølbrygning” (Bjerrum 1939, s. 71). Med disse udstukne rammer omlagde S.P.L. Sørensen da også sin forskning efter ansættelsen fra den analytiske kemi til biokemi, nærmere bestemt aminosyre- og proteinkemi. Og følgelig blev der straks fra indførelsen af pH-begrebet fokuseret på dets praktiske anvendelsesmuligheder. I denne artikel vil jeg primært fokusere på, hvordan pH-begrebet i perioden 1910-1945 fandt anvendelse i processen med at forbedre danskproduceret hvedebrød, men når historien nu tager sit udgangspunkt på Carlsberg Laboratoriet skal ølproduktionen ikke helt overses.

## Øl og pH

Gennem Louis Pasteurs (1822-1895) arbejder i 1850erne og 1860erne var det blevet erkendt, at gæren i gæringsprocessen ikke kun var et betydningsløst affaldsprodukt, og Pasteur viste, at produkterne af gæringen ikke kun var kulsyre og alkohol, men også glycerin, ravsyre (butandisyre), cellulose, fedtmolekyler og andet. I starten af 1880erne var det lykkedes Emil Christian Hansen (1842-1909) på Carlsberg Laboratoriets fysiologiske Afdeling som den første at fremstille ren gær (dvs. gær kultiveret fra en enkelt gær-celle), og selvom dette var et stort skridt fremad for ølbrygningsindustrien, så var der endnu flere uafklarede problemer, der fra tid til anden gjorde

produktionen ubrugelig eller gjorde det færdige produkt hos kunden udrikkeligt. Men i 1924 kunne S.P.L. Sørensen så ved Dansk Brygmester-Forenings møde i København fortælle tilhørerne, hvordan de nye forskningsresultater i forbindelse med pH-begrebet kunne forbedre deres professions vilkår:

“Vi vilja nu uppställa den frågan: Hvertill skall bryggeriindustrien använda de vapen, som de sista årtiondenas forskning gifvit densamma? Svaret på denna fråga är af tvåfaldigt slag och ligger nära till hands. För det första kan industrien med tillhjälp af denna nya vetenskap förskaffa sig en fastare och solidare grundval för sin normala drift, och för den andra kunna de nya metoderna och synspunkterna vara industrien till hjälp och gagn vid sådana tillfällena, då svårigheter af ett eller annat slag tillsöta.” ( Sørensen 1924, s. 87)

Carlsberg Bryggerierne var gået aktivt ind i at syrne urten og havde derved opnået klare forbedringer af produktet.

Kontrol af pH-værdien var af afgørende betydning for at undgå bundfald - et ofte opstående problem i forbindelse med ølbrygningen. Problemet opstod, når proteinerne i urten denaturerede og efterfølgende gik i stykker som følge af urtens opvarmning. Denatureringen er proportional med hydrogenionkoncentrationen idet større hydrogenionkoncentration giver større denatureringshastighed. Derimod er en effektiv udfældning afhængig af, at pH-værdien ligger så tæt på proteinernes isoelektriske punkt som muligt,<sup>1</sup> der for det enkelte protein ligger omkring pH=4,7 (Sørensen 1924, s. 84, Sørensen 1925, s. 115-117).

Det vand, der blev brugt ved ølbrygning, var ofte basisk (mange carbonater), så for at opnå den optimale pH-værdi var det nødvendigt at tilsætte syre ( Poulsen 1925, s. 402). Urten har inden kogning og uden tilsætning af syre normalt en pH mellem 6,0 og 6,2 og efter kogning en pH omkring 5,4-5,5 - hvilket altså er over det isoelektriske punkt (Sørensen 1924, s. 86).

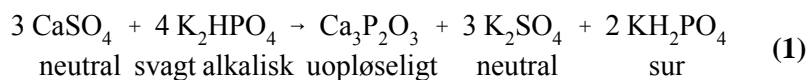
Det kan imidlertid også være et problem at sænke pH-værdien for

---

1. Proteinets isoelektriske punkt er den pH, hvor molekylet eksisterer som en neutral, dipolær ion.

meget. Hvis det sker, spaltes de proteiner, som er med til at give øllet smag, og som er med til at sørge for, at øllet ikke skummer over. Øllet ville blive fadt og overskummende. På den anden side kan en lempelig forsyning medføre fordele som mindre bundfald efter transport og dermed også længere holdbarhed. Balancen beror på den enkelte brygmesters erfaring - på Carlsberg var man, ifølge S.P.L. Sørensen, i 1924 nået frem til en tilfredsstillende pH på 5,1-5,2 (Sørensen 1924, s. 87-88).

Til syrning brugtes på Carlsberg Bryggerierne mælkesyre-kulturer (Poulsen 1925, s. 404) - vandet i Valby var særligt carbonatholdigt, så syrning var et stort fremskridt for ølbrygningen. Man kunne også tilsætte gips<sup>2</sup> (CaSO<sub>4</sub>) til vandet før brygningen, da det under brygningen reagerer med det naturligt forekommende fosfat i vandet (Poulsen 1925, s. 404):



Brygvandets indhold af forskellige salte er også med til at "bestemme" hvilken type, der kan brygges på det givne sted. Det er ikke tilfældigt, at München er kendt for sit mørke øl og Pilsen for sit lyse:

"En bryggare, som är fullt medveten om sitt ansvar, bör sträftva efter ett riktigt förhållande mellan bryggvattnets halt af salter, maltets groningsförmåga, torkningstemperatur samt mäsik- och humlekokningsmetoder för att erhålla den lämpligaste vätejonkoncentrationen för den öltyp, man önskar framställa" (Poulsen 1925, s. 406).

Ved hjælp af syrning af urten (og dermed kontrol af pH-værdien) opnåede Carlsberg Bryggerierne altså at få et lysere, renere og klarere produkt, der havde en bedre smag (idet carbonaternes bitre smag var fjernet) og som havde en stærk forøget holdbarhed (der blev ikke udfældet proteiner under transport og/eller henstand) ( Poulsen 1925, s. 408-10).

---

2. Egentligt CaSO<sub>4</sub>·2 H<sub>2</sub>O (to krystalvand), men vandet kan udelades her.

## Dejens kemi

Udgangspunktet for den følgende beskrivelse er Hans Jessen-Hansens konstatering i 1911 af, at tilsætning af syre til dej havde en gavnlig indflydelse på det færdige brøds karakter:

“det har [...] vist sig, at [...] syretilsætning ikke blot indvirker på vægtfylden, men også på brødets kvalitet i det hele, således at i al fald de fleste af de egenskaber, som tilsammenlagte er et udtryk for det, man i praksis kalder melets “kraft” eller “bageevne” [...], såsom form, udvendig og indvendig farve, finporethed, kommer til den højeste udvikling, når der tilsættes en bestemt, ringe mængde syre. Med andre ord: det har vist sig, at der gives en optimumsbrintionkoncentration for bageevnen” (Jessen-Hansen 1911, s. 154-5).

Spørgsmålet er nu, hvorfor syring af dej har en effekt og dernæst hvor meget syre, der skal tilsættes for at opnå det bedste resultat. Med dej menes i det følgende kun dej af hvedemel, da kun hvedemel indeholder, hvad der om lidt vil vise sig at være en vigtig komponent, nemlig gluten, der er helt afgørende for bageresultatet for hvedebrød.<sup>3</sup>

Jessen-Hansens konklusion fra 1911-undersøgelsen ses illustreret på figur 1. Det ses, at den optimale pH-værdi for begge meltyper ligger omkring 5,1, og at bageevnen er markant mindre ved højere eller lavere pH-værdier.

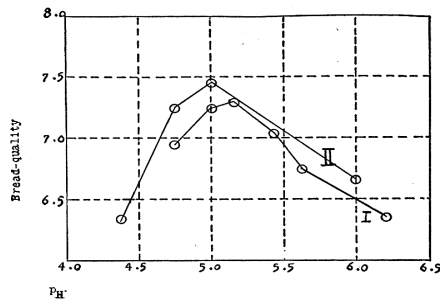
Hvad man forstår som god brødkvalitet er selvfølgelig subjektivt - her skal kun ses på melets bageevne, dvs. hvordan man kan optimere melets bageevne. Denne egenskab defineres som “Evnens til at give høje, voluminøse Brød” (Jørgensen 1941, s. 7<sup>4</sup>), og det turde være klar for enhver at dette ikke nødvendigvis er det samme som at brødet er godt. Ikke desto mindre er

---

3. Grunden til at kun hvedemel med vand danner gluten skyldes primært to forskelle i forhold til andre typer mel. Dels er den største del af proteinerne i f.eks. rugmel lavmolekulære, og ikke som i hvedemel højmolekulære forbindelser, der ved kvældning i vand under indlejring af en stor mængde vandmolekyler giver gelé- eller gummiagtige masser. Dels er der en alafgørende forskel i hvede- og rugproteinernes sekundære struktur, idet kun hvedeproteinerne ved peptid-, salt-, og hydrogenbindinger opnår en tredimensionel struktur, hvis elasticitet er kendetegnende for gluten (Møllgaard 1960, s. 7 og 17-18).

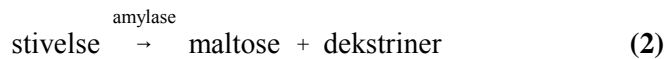
4. Definitionen blev oprindeligt fremsat af Albert Humphries i 1905 (Jørgensen 1943B, s. 74).

der ræson i definitionen, idet forbrugeren ofte vil vælge det største brød blandt flere hos bageren eller i supermarkedet, hvis de kan vælge, uagtet at brødene ofte vejer det samme og derfor er lige ernæringsgivende.

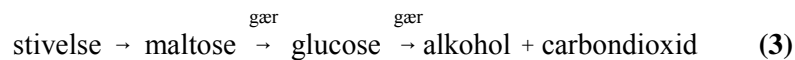


**Figur 1:** Brød kvalitet som funktion af pH-værdien for to meltyper (I og II) (Sørensen 1925, s. 101).

Der er to årsager til forløbet af kurven på figur 1: først og fremmest virker enzymerne i melet og i gæren bedst ved bestemte pH-værdier, og for det andet afhænger mel-proteinernes fysisk-kemiske egenskaber af syrekonzentrationen (Sørensen 1925, s. 101). Et eksempel på dette ses i figur 2,<sup>5</sup> der viser, hvor specifik en hydrogenionkoncentration enzymet amylase kræver for optimalt at spalte stivelse til maltose og dextrin, se ligning 2.



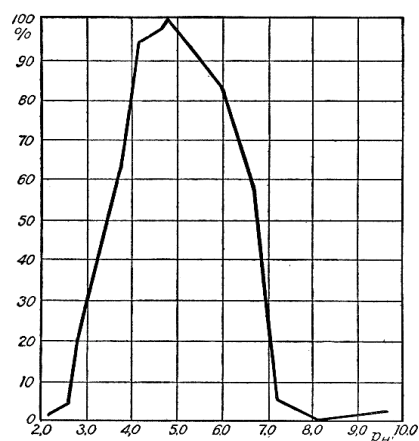
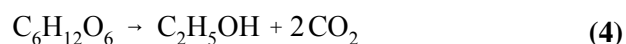
Netop spaltningen af stivelse er vigtig, for den proces ender med at give alkohol og carbondioxid, hvor sidstnævnte skal sørge for at hæve dejen. Ligning 3 viser på simplificeret vis reaktionsrækken.




---

5. Melets indhold af amylase er bl.a. afhængig af melsort og kornets indhøstningsforhold. Hvis der ikke er meget amylase i dejen, skal man sørge for at der er nok sukker tilstede til, at gæren ikke "løber tør" og gæringen dermed stopper (Jørgensen 1943B, 78-82).

Den sidste reaktion er en almindelig gæring (fermentering):<sup>6</sup>



**Figur 2:** Dannelse af maltose ved hjælp af enzymet amylase ud fra stivelse (Sørensen 1925, s. 105).

For at få den størst mulige hævningskræves, ifølge ligning 4, mest muligt sukker. Sukkeret kan tilsættes dejen og/eller fås via reaktionerne i ligning 3; normalt tilsættes lidt sukker, mens det meste sukker kommer fra stivelsen eller maltosen, lidt maltmel kan eventuelt tilsættes for at fremme maltosedannelsen (Sørensen 1925, s. 108).

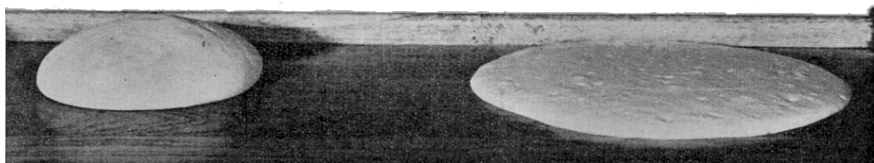
Imidlertid er det ikke nok, at der er amylase nok tilstede, og at hydrogenionkoncentrationen er optimal for amylasens virkning, hvis man vil opnå det optimale bageresultat. Normalt vil der nemlig under hævningsvære overskud af sukker i dejen og processen bliver derfor mindre afhængig af, at amylasen virker optimalt - reaktion 2 vil forløbe i tilstrækkelig grad

---

6. En almindelig gæring kan, under de rette betingelser, omdanne ganske store mængder sukker på kort tid. 1 kg gær med overskud af sukker kan i løbet af 1 time udvikle hvad der svarer til 0,5 kg 100% alkohol og 250 L CO<sub>2</sub> (Jørgensen 1943B, s. 117). Det er imidlertid vigtigt, for den praktiske udnyttelse af ligning 3, at være opmærksom på, at gær primært er indstillet til at omsætte glucose, ikke maltose - og derfor er en vis hævetid nødvendig for at få maltosedannelsen igang (Møllgaard 1960, s. 14).



selvom pH afviger noget fra amylasens optimumsværdi. Derimod er melets bageevne afhængig af, at pH ligger så tæt som muligt på mel-proteinernes pH optimum (Jørgensen 1943B, s. 88). Hovedparten af proteinet i hvedemel er gluten, der er en blanding af gliadin og glutenin, to højmolekylære nitrogenholdige forbindelser, og det danner med vand en elastisk og udvidelig masse, som carbondioxiden kan udvide sig i under hævnningen; uden gluten bliver carbondioxiden ikke holdt tilbage i dejen, den fordamper bogstaveligt talt, og dejen hæver ikke, se figur 3.



**Figur 3:** Hvedemelsdej uden og med papain, et glutenedbrydende enzym (Jørgensen 1943A, s. 7).

Indholdet af protein i det enkelte mel er afhængig af kornsorten og dyrkningsmetoden. I gennemsnit indeholdt det hvedemel fra USA og Canada, der importeredes til Danmark i 1930erne og 1940erne, i gennemsnit 6% mere protein end mel af danske kornsorter (Jørgensen 1943B, s. 105).

## Studier over hvedemel

Så tidligt som i 1911, kun to år efter pH-begrebets indførelse, publicerede Hans Jessen-Hansen (1860-1934), S.P.L. Sørensen's assistent, de første resultater af pH-kontrollerede bageforsøg udført på Carlsberg Laboratoriet (Jessen-Hansen 1911). Hans udgangspunkt var observationen af, at syretilsætning påvirkede bageevnen, og han foranstaltede derfor bageforsøg for at finde denne optimums-hydrogenionkoncentration og for at undersøge, om den var den samme for forskellige melprøver.

Til dejene brugtes en konstant mængde gær, salt og vand. Vandet blev

tilsat en varierende mængde syre,<sup>7</sup> og en melmængde, der var afvejet nøjagtigt, men varierede med melsorten. Temperaturen for den færdige dej blev holdt på 25°C. Brødene blev formbagt af en bagersvend, og rumfylden bestemtes som funktion af pH-værdien. Rumfylden (rumfanget i kubikcentimeter af 1 gram brød, dvs. den reciprokke vægtfylde) blev valgt som “*det mest umiddelbare udtryk for melets “kraft”*” (Jessen-Hansen 1911, s. 155). Bstemmelsen af pH-værdien skete både elektrometrisk og kolorimetrisk.

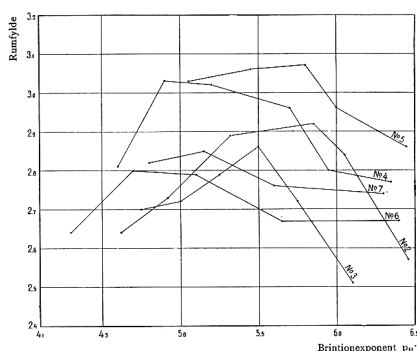
Nr.	Melets		Tørstof i %								Rumfylde- tilvækst i %	
	Hjemstavn	Total N i % af Tørstoffet										
2	Taganrog	2.991	84.73	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	21.8	29.0	50.8	65.3	78.3	85.1	—
				pH . . . . .	6.46	6.05	<b>5.85</b>	5.32	4.92	4.62	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.57	2.84	<b>2.92</b>	2.89	2.73	2.64	2.60	13.6
				Udbytte . . . . .	1.56	1.58	1.59	1.57	1.57	1.58	1.56	—
3	Sverige	2.132	83.59	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	14.1	21.2	28.2	35.3	42.3	—	—
				pH . . . . .	6.20	5.75	<b>5.50</b>	5.25	—	—	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.51	2.72	<b>2.86</b>	2.79	2.72	2.70	—	13.9
				Udbytte . . . . .	1.59	1.60	1.58	1.59	1.57	1.58	—	—
4	Riga	2.620	87.37	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	10.7	21.3	32.0	42.6	53.3	—	—
				pH . . . . .	6.35	5.95	5.70	5.20	<b>4.90</b>	4.60	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.77	2.80	2.96	3.02	<b>3.03</b>	2.81	—	9.4
				Udbytte . . . . .	1.52	1.53	1.52	1.52	1.52	1.54	—	—
5	Indien	2.000	87.03	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	16.2	24.3	36.5	48.6	—	—	—
				pH . . . . .	6.45	6.00	<b>5.80</b>	5.45	5.05	—	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.86	2.96	<b>3.07</b>	3.06	3.03	—	—	7.3
				Udbytte . . . . .	1.53	1.57	1.57	1.55	1.54	—	—	—
6	Australien	2.250	86.03	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	23.3	34.9	46.5	58.1	—	—	—
				pH . . . . .	6.40	5.65	5.10	<b>4.70</b>	4.30	—	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.67	2.67	2.79	<b>2.80</b>	2.64	—	—	4.9
				Udbytte . . . . .	1.57	1.56	1.54	1.55	1.55	—	—	—
7	Blanding	2.508	85.12	Tilsat Syreækvivalen- ter til 1 Kilo Mel. . . . .	0	23.1	34.7	40.0	46.2	—	—	—
				pH . . . . .	6.30	5.60	<b>5.15</b>	(4.90)	4.80	—	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.74	2.76	<b>2.85</b>	(2.70)	2.82	—	—	4.0
				Udbytte . . . . .	1.58	1.59	1.58	1.57	1.59	—	—	—

Figur 4: Bageresultater med ‘straight’ melsorter (Jessen-Hansen 1911, s. 162).

7. Primært saltsyre, men også eddikesyre, mælkesyre og fosforsyre. Jessen-Hansen 1911, s. 161.

Figur 4 viser forsøgsresultaterne for fem melsorter af arten '70 procent mel' eller 'straight' plus en blanding af de fem. Som det også kan ses på figur 5, så varierer den optimale pH-værdi for de fem sorter:

$$pH_{\text{optimal}} = [4,6; 5,9]$$



**Figur 5:** Rumfylden som funktion af pH for seks forskellige melsorter (Jessen.Hansen 1911, s. 163).

Det ses af figur 4, at udbyttet (mængde brød vundet af en del meltørstof) var uafhængigt af syretilsætningen. Derfor blev der i de sidst udførte bageforsøg i stedet givet en karakter for melets bageevne. Denne karakter var en sum af fem tal, hver af dem udtryk for én egenskab ved brødet, divideret med fem. "Det i enhver henseende fuldkomne" blev sat til otte, idet ufuldkommenheder blev trukket fra den optimale karakter. Den endelige karakter blev altså maksimalt 8 for hvert brød. De fem egenskaber var:

"1) brødets form og ydre i det hele bortset fra farven, 2) skorpens farve, 3) teksturens eller poringens finhed og ensartethed, 4) krummens farve og 5) den større eller mindre lethed, hvormed dejen lod sig behandle" (Jessen-Hansen 1911, 168).

Som det kan ses af figur 6 hænger den optimale rumfylde og den højeste karakter sammen. Jessen-Hansen konkluderede desuden, at selvom optimum nok var noget forskelligt for de forskellige melsorter, så lå de alle i nærheden af pH 5, og "det kunne se ud til ved en lidt lavere værdi af  $p_{\text{H}}$  for de finere melsorters vedkommende, og ved en lidt højere værdi for de tarveligeres"

(Jessen-Hansen 1911, s. 169).

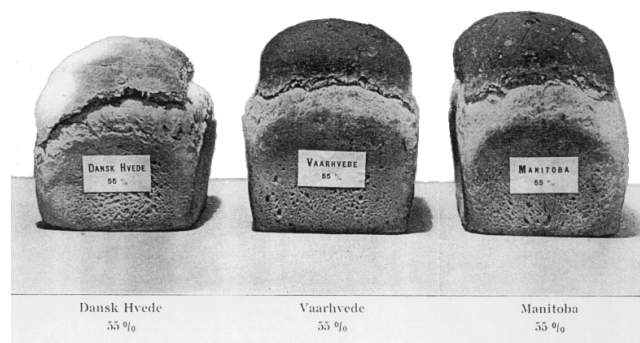
Nr.	Melets		Anvendt Syre								Rumfylde- tilvækst i %	
	Tørstof i %	Total N i % af Tørstoffet										
9	84.94	2.133	Saltsyre	(Tilsat Syrækvivalenter til 1 Kilo Mel . . . . .)	0	9.4	20.1	26.8	33.5	40.2	—	—
				Ph'	6.35	6.00	5.25	<b>5.05</b>	4.75	4.55	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.91	3.11	3.11	<b>3.22</b>	3.16	3.07	—	10.7
				Udbytte . . . . .	1.53	1.51	1.54	1.53	1.51	1.52	—	—
13	86.48	2.069	Saltsyre	(Tilsat Syrækvivalenter til 1 Kilo Mel . . . . .)	0	13.7	20.6	27.4	34.3	—	—	—
				Ph'	6.20	5.70	5.35	<b>4.95</b>	4.65	—	—	—
				Rumfylde . . . . .	2.94	3.20	3.25	<b>3.46</b>	3.31	—	—	17.7
				Karakter . . . . .	5.75	6.59	6.67	6.75	6.50	—	—	—
13	»	»	Fosforsyre	(Tilsat Syrækvivalenter til 1 Kilo Mel . . . . .)	0	32.2	48.3	64.4	80.4	96.5	—	—
				Ph'	6.20	5.70	5.40	<b>5.20</b>	5.00	4.75	—	—
				Rumfylde . . . . .	3.03	3.21	3.49	<b>3.50</b>	3.45	3.08	—	15.5
				Karakter . . . . .	6.35	6.75	7.17	7.30	7.23	6.95	—	—
13	»	»	Mælkesyre	(Tilsat Syrækvivalenter til 1 Kilo Mel . . . . .)	—	14.1	21.2	28.2	35.3	42.3	—	—
				Ph'	—	5.55	5.30	4.95	4.75	<b>4.55</b>	—	—
				Rumfylde . . . . .	(2.98)	3.26	3.38	3.42	3.50	<b>3.51</b>	—	17.8
				Udbytte . . . . .	—	6.85	7.18	7.28	7.48	7.35	—	—
15	90.05	2.108	Eddiesyre	(Tilsat Syrækvivalenter til 1 Kilo Mel . . . . .)	0	7.3	14.6	21.9	29.2	40.2	51.1	—
				Ph'	6.10	—	5.50	—	5.05	<b>4.85</b>	4.70	—
				Rumfylde . . . . .	2.78	2.94	3.04	3.12	3.22	<b>3.33</b>	3.30	19.8
				Karakter . . . . .	6.19	6.94	6.94	7.19	7.31	7.62	7.69	—

**Figur 6:** Bageresultater med de på markedet ringeste melsorter, 'flormel' og lignende. Nr. 15 dog et finere, amerikansk mel (Jessen-Hansen 1911, s. 166).

Brødskorpens farve hænger også sammen med mængden af amylase i brødet. Dekstrin, som dannes ved diastatisk spaltning af stivelse (se ligning 2),<sup>8</sup> bidrager til at give brødskorpen sin brune farve. Som det ses af figur 7, så er brødet bagt af almindelig dansk vinterhvede (brødet til venstre) mest blegt - der er altså kun i ringe omfang dannet dekstriner. Det er samtidigt det

8. Det er mængden af enzymet  $\alpha$ -diastase, der er afgørende for hvor meget dekstrin, der dannes i forhold til maltose. Et højt indhold af  $\alpha$ -diastase giver en stor mængde dekstrin, der igen medfører det i figur 9 viste mislykkede brød, hvor krummen har marcipanagtig konsistens (Møllgaard 1960, s. 4).

af de tre brød, der har den ringeste bageevne, hvorimod brødet i midten, bagt af vårhvede, har næsten lige så god bageevne og så mørk farve, som brødet til højre, der er bagt på canadisk Manitoba-hvede (Jørgensen 1929).



**Figur 7:** Hvedebrød bagt af tre forskellige slags hvede (Jørgensen 1929, bilag 2).

Jørgensens 1929-undersøgelse var et led i <sup>A</sup>/<sub>S</sub> Dansk Gærings-Industri (DGI)s omfattende hvedemels-undersøgelser, der netop startede i 1929 og var foranlediget af oprettelsen af Hvedeudvalget. Udvalget, der havde S.P.L. Sørensen som formand indtil hans død, var oprettet af interesser indenfor landbruget og gæringsindustrien med det formål “at klarlægge grunden til, at den danske hvedes bageevne er saa ringe i sammenligning med bageevnen af den oversøiske hvede, og da navnlig den kanadiske Manitobahvede, samt søge at finde veje til forbedring af den danske hvede” (Jørgensen 1943C, s. 31).<sup>9</sup> Hvedeudvalgets undersøgelser blev betalt af DGI's studiefond og blev

---

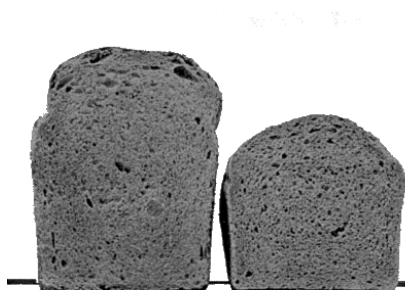
9. <sup>A</sup>/<sub>S</sub> Dansk Gærings-Industri blev stiftet i 1918 med det primære formål at drive laboratorium og være konsulent for De Danske Spritfabrikker (DDS)s teknisk-industrielle virksomhed. Lokaler og personale blev da også stillet til tilrådighed af DDS. DGI's studiefond blev oprettet i 1924 for overskudet ved udenlands salg af det såkaldte z-gær-patent. Studiefondet ydede, udover til Hvedeudvalgets undersøgelser og publikationer, også tilskud til flere nordiske kemikermøder og andre konferencer.

foretaget i DGIs laboratorium af fabriksingeniør Holger Jørgensen (1896-1971), der var ansat i DGI fra 1923 til 1950, hvor han blev professor i teknisk biokemi ved Danmarks tekniske Højskole. Jørgensen var, som H.C. Helt har udtrykt det, “Danmarks førende cerealkemiker”. Han fik i 1936 Julius Thomsen medaljen for hans bog fra 1935 på tysk om pH-begrebet og dets anvendelse og for hans generelle indsats indenfor cerealkemien (Helt 1981, s. 538).

## Krigsmel

De sidste bageforsøg og melundersøgelser, der skal omtales, blev foretaget under anden verdenskrig. I høsten 1942 traf det sig så uheldigt, at hvedehøsten helt slog fejl. Man måtte derfor forsøge at finde et alternativ til hvedemel; det blev ‘det ny mel’, sigtemelet, som består af 70% rug og 30% byg.

Rugmel indeholder, som nævnt, intet gluten, hævnning sker derfor udelukkende i et stivelsesgitter.<sup>10</sup> Imidlertid gælder ligning 2 stadigvæk, hvilket vil sige, at den bedste hævnning i det størst mulige stivelsesgitter sker når dejens pH ligger udenfor det område, hvor amylasen virker bedst. Da sigtemelet kom på markedet i 1942 var man ikke opmærksom på dette, og det medførte mange dårlige bageresultater. Det mindst alvorlige problem med sigtemelet var, at brødene ikke blev så voluminøse som hvedebrød, se figur 8.



**Figur 8:** Til venstre et almindeligt hvedebrød fra høsten 1941, til højre et sigtebrød af høsten 1942. Det ses, at brødvolumet kun er godt halvt så stort for sigtebrødet trods lige store vægtmængder (Jørgensen 1943A, s. 1).

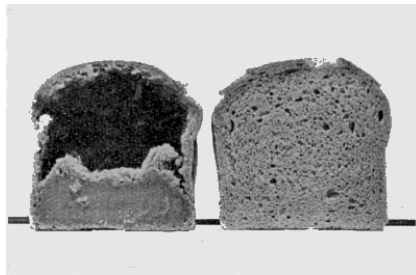
---

10. Af stivelsens to former, amylose og amylopektinet er det alene sidstnævnte, der er grundlaget for forklistringsprocessen og dermed for det færdige brøds luftighed (Møllgaard 1960, s. 3).

Værre var, at brødkrummen

“ofte får en højst uheldig karakter: I alvorlige tilfælde kan krummen blive blød og fugtig (marcipanagtig), ja, den kan endog blive ganske henflydende (nærmest som meget tyk maltekstrakt). Man har da brød af det berygtede “ligkiste”-udseende” [med blød og uappetitlig krumme] (Jørgensen 1943A, s. 2).

Se figur 9.



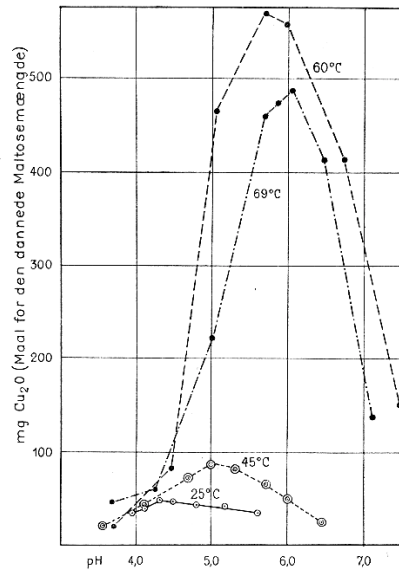
**Figur 9:** Sigtebrød med forskellige pH-værdier i krummen. Brødet til venstre har ligkisteudseende (Jørgensen 1943A, s. 4).

pH i Krummen 5,82

pH i Krummen 4,64

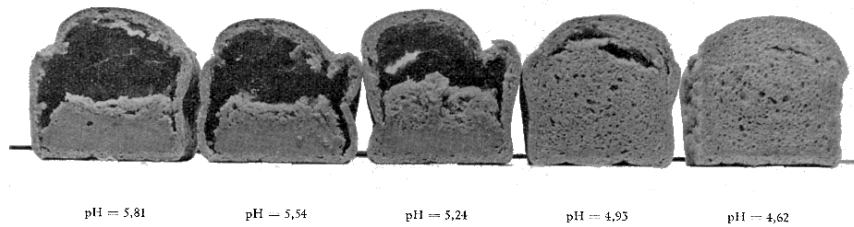
I brødet til venstre ligger hydrogenionkoncentrationen tæt på amylasens pH-optimum - en værdi der er temperaturafhængig, som det fremgår af figur 10.

Af figuren fremgår det tydeligt, at enzymet virker stærkest ved 60°C, og følgelig vil brød, der ser normalt ud, inden det sættes i ovnen, falde sammen, når det bliver varmet op, hvis pH ikke holdes under ca. 5 (se figur 10). Det er denne situation, der specielt skal undgås, og det kan ske enten ved at sørge for en høj pH-værdi, hvilket kan ske ved hjælp af sekundært natriumfosfat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) - en løsning der er af foretrække for folk med sart mave- eller ved at syrne til en pH-værdi omkring 4,4 med mælke-, citron- eller saltsyre (Jørgensen 1943B, s. 112). Sidstnævnte mulighed var blevet undersøgt af russiske videnskabsmænd, og resultaterne var af langt mere end teoretisk betydning. Jørgensen skrev: “[de russiske] undersøgelser har haft overordentlig stor praktisk betydning, og ca. 75% af møllernes produktion af det ny mel syrnes nu på møllerne [...] de danske møllers forbrug af mælke- og citronsyre til syring af det ny mel andrager flere hundrede tusinde kg for dette ene høstår” (Jørgensen 1943A, s. 3). Figur 11 viser, at det ikke er nok at ‘halvsyrne’ f.eks. ned til pH ca. 5,25; man skal ned på pH 4,6–4,7, før



**Figur 10:** Amylasevirkningens afhængighed af pH og temperatur (Jørgensen 1943A, s. 3).

brødet ingen skavanker har. Det er den pH-værdi, der er den lavest mulig, der er forenelig med en god form på brødet og med en god smag.



**Figur 11:** Sigtebrød ved forskellige pH-værdier (Jørgensen 1943A, s. 4).

Ud over pH-kontrol eksperimenteredes også - både før, under og efter krigen - med andre måder at forbedre bageevnen og det færdige resultat på. Jeg skal ikke gå nærmere ind på det her, blot nævne forbudet mod at blege melet bl.a. ved hjælp af chlor eller ozon for derigennem at opnå et smukkere brød og Holger Jørgensens doktorafhandling, der i 1941 behandlede virkningen af tilsætning af kaliumbromat og C-vitamin til hvedemel og baggrunden for



deres bageevneforbedrende virkning. I det hele taget er eksperimenterne med melforbedrende stoffer langt ældre end dette århundrede.

## Andre anvendelsesområder

Som afrunding vil jeg kort omtale nogle af de andre områder, hvor pH-begrebet fandt praktisk anvendelse, og hvor danskere stod for undersøgelserne.

Indenfor levnedsmiddelindustrien foretog Kai Mortensen, K.W. Nielsen og Gustav Petersen i 1937 undersøgelser for en fabrik for at forbedre dens produktion af kødekstrakt (Mortensen et al. 1937). Undersøgelserne gik især ud på at afgøre, hvorvidt kødet skulle lagres før det bearbejdedes eller om det kunne bruges straks efter slagtning, og i den forbindelse blev der lavet pH-målinger af kødprøver, der lagredes op til en måned. Det viste sig, at pH-værdien faldt radikalt fra omkring 7,3 ved slagtningen til cirka 5,7 en uge efter for derefter igen at stige jævnt til 6,6 en måned efter slagtningen. Omvendt viste undersøgelser af mængden af nitrogen-holdige ekstraktstoffer at den fra at være forsvindende lille lige efter slagtningen steg hurtigt til et lokalt maksimum samtidigt med pH-kurvens minimum, dvs. efter en uges lagring. Ekstraktmængden var dermed i den første uge omvendt proportional med pH-værdien i kødet. Forfatterens konklusioner var, at kødet skulle anvendes inden pH-værdien begyndte at stige igen, da både kvaliteten og kvantiteten af kødekstrakten ellers ville blive forringet.

Carlsberg Laboratoriet var, udover i Jessen-Hansens bageundersøgelser, også involveret i målinger af pH-værdien i havvand og i konsekvenserne af havenes varierende surhedsgrad. I 1910 var S.P.L. Sørensen assistent, kemikeren Sven Palitzsch (1882-1959), med på Laboratoriets fiskeri- og havundersøgelser på trawleren Thor ejet af de danske fiskerimyndigheder. Han undersøgte hydrogenionkoncentrationens variation i oceanerne; en undersøgelse af betydning, da "*havdyrernes livsfunktioner påvirkes i høj grad af det havvand, hvori dyrerne lever*" (Palitzsch 1911). Fiskeæg behøver således ganske bestemte hydrogenionkoncentrationer i havvandet for at udvikles (man kan ikke tage fiskeæg fra Østersøen, flytte dem til Nordsøen og regne med, de overlever). Under de praktisk set vanskelige forhold lykkedes det Palitzsch at bestemme, bl.a. at oceanernes pH-værdi lå mellem 7,95 og 8,35 (svagt alkaliske) - dog var Sortehavet kendeligt mere sur: pH  $\approx$  7,26. I Atlanterhavet steg pH fra nord til syd, den østlige del af Middelhavet

vet var mest alkalisk. Overfladevandet var generelt mere alkalisk end bundvandet.

I landbruget var K.A. Hasselbalch (1874-1962), inspireret af Niels Bjerrum, en forgangsmand, der udviklede en praktisk anvendelig metode til bestemmelse af jordens reaktionstal (pH-værdi), således at jordens behov for tilførsel af kridt ( $\text{CaCO}_3$ ) kunne fastslås (Astrup & Severinghaus 1985, s. 187-88). Også på Carlsberg Laboratoriet forskedes i sammenhængen mellem jordens pH-værdi og afgrødeudbyttet (Kragh & Petersen 1995, s. 259).

Endelig må pH-begrebets store anvendelse indenfor den medicinske verden ikke glemmes. Især kan fremhæves, at regulering af pH-værdien er vital ved fremstillingen af insulin (Jørgensen 1935, 181-82 og 199-200) - en produktion, som August Krogh (1874-1949) som en af de første i Europa var med til at udvikle i midten af 1920'erne.

## Litteratur

- Astrup, P. & J.W. Severinghaus 1985, *Blodgassernes, Syrernes og Basernes Historie* (København: Munksgaard)
- Bjerrum, Niels 1939, "Søren Peter Lauritz Sørensen", *Oversigt over Videnskabernes Selskabs Virksomhed, 1939-40*, 51-87
- Helt, H.C. 1981, "Jørgensen, Holger", ss. 537-38 i *Dansk biografisk Leksikon*, 3. udg., 7. bind (København: Gyldendal)
- Jørgensen, Chr. F. 1943C, "Aktieselskabet Dansk Gærings-Industri's Udvikling gennem Aarene", ss. 9-62 i *Aktieselskabet Dansk Gærings-Industri. 1918 - 13 September - 1943* (København: Dansk Gærings-Industri)
- Jørgensen, Holger 1929, *Nogle Undersøgelser vedrørende Mel af Vaarhvede* (København: L. Levison junr. Akts.)
- Jørgensen, Holger 1935, *Wasserstoffionenkonzentration (pH) und deren Bedeutung für Technik und Landwirtschaft* (Dresden: Th. Steinkopff)
- Jørgensen, Holger 1941, *Studier over Bromatvirkningens Natur* (København: Jul. Gjellerups Forlag)
- Jørgensen, Holger 1943A, "Nogle forsøg med det ny mel". *Kemisk Maanedssblad og Nordisk Handelsblad for kemisk Industri*, **24**, 1-9
- Jørgensen, Holger 1943B, "Kemien og Brødfremstillingen 1918-1943", ss. 73-135 i *Aktieselskabet Dansk Gærings-Industri. 1918 - 13 September - 1943* (København: Dansk Gærings-Industri)
- Kragh, Helge & H.J. Styhr Petersen 1995, *En Nyttig Videnskab* (København:

Gyldendal)

Mortensen, Kai, K.W. Nielsen & Gustav Petersen (1937), "Studier over Ændringer i slagtet Køds Karakter og pH-Værdi samt Udbytte af Kvælstofholdige Ekstraktstoffer". *Kemisk Maanedssblad*, **18**, 127-30

Møllgaard 1960, *Studier over rugbrøds- og hvedebrødsbagningens teori og teknik* (København: Centrallaboratoriet)

Palitzsch, Sven 1911, "Om Maalingen og Størrelsen af Havvandets Brintionkoncentration". *Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet*, **X**, 78-89

Poulsen, Poul C. 1925, "Syrning af mæsk". *Svenska Bryggareföreningens Månadsblad*, **4**, 402-11

Sørensen, S.P.L. 1924, "Proteinämnera i vörten och ölet". *Svenska Bryggareföreningens Månadsblad*, **3**, 77-93

Sørensen, S.P.L. 1925, *Proteins: Lectures given in the Unites States of America in 1924* (New York: The Fleischmann Laboratories)

De indsatte figurer er i let grad billedbehandlede.