

# OPTIMALE PROCESBETINGELSER FOR FREMSTILLING AF FROSNE GÆ RDEJE

*For:*

*Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri  
Direktoratet for FødevareErhverv  
J.nr.: 93s-2466-Å02-01527*

*Maj 2004*

*Forfattere:*

*Peter Schneider, Teknologisk Institut  
Torben M. Hansen, Teknologisk Institut  
Bo Spange Sørensen, Danisco A/S  
Jørgen Jensen, Cerealia Unibake A/S  
Søren Landtved, Cerealia Unibake A/S  
Jens M. Svendsen, AGA A/S  
Olaf Møller, Hans Jensens Maskinfabrik K/S  
Hagen Schönicke, Cerealia Danmark A/S*

## Indholdsfortegnelse

1	Forord .....	3
2	Baggrund .....	4
3	Præsentation af virksomhederne .....	6
4	Ingredienser .....	7
4.1	Baggrund .....	7
4.2	Frysningens indvirkning på dejsystemer .....	7
4.3	Indvirkningen på gærens levedygtighed dvs. gærens fermenteringskraft .....	7
4.4	Indvirkning på glutennetværk, dvs. egenskaber i tilbageholdelse af gas .....	9
5	Anvendt bageudstyr .....	14
6	Fryseudstyr .....	15
6.1	Indfrysningshastigheden .....	15
6.1.1	Immersionsfrysning .....	16
6.1.2	Indfrysning med nitrogen .....	16
6.2	Beskrivelse af køleanlæg til luftfrysning med CO <sub>2</sub> som kølemiddel .....	17
6.2.1	Simulering af indfrysningsforløb .....	19
6.3	Nitrogenfrysning .....	19
7	Forsøgsplanlægning .....	23
8	Blanding, opslagning og raskningsprocesser .....	24
9	Batchstørrelser .....	24
10	Forsøg .....	25
10.1	Recept .....	25
10.2	Miksning/æltning .....	25
10.3	Afvejning .....	25
10.4	Rundvirkning .....	25
10.5	Liggetid .....	26
10.6	Langrulning .....	26
10.7	Raskning/hævning .....	26
10.7.1	Bagning .....	27
10.8	Forsøgsdata .....	28
11	Evaluerings af forsøg .....	30
11.1	Specifik volumenmålinger og totalscore vurderinger .....	30
11.1.1	Specifik volumen afhængig af dage på frostlager ved -22°C .....	30
11.1.2	Specifik volumen afhængig af rasketid .....	33
11.1.3	Totalscore afhængig af dage på frostlager ved -22°C .....	36
11.2	Totalscore afhængighed af rasketid .....	40
11.3	TPA-målinger .....	43
11.4	Konklusion TPA-analyser .....	50
11.5	Multivariabel dataanalyse .....	51
11.5.1	Helbrød .....	52
11.5.2	Baguettes .....	54
12	Økonomisk sammenligning mellem frysemetoder .....	56
13	Konklusion og rekommendationer .....	59
14	Referenceliste .....	60

## 1 Forord

Nærværende rapport er dokumentation for projektet ”Optimale procesbetingelser for fremstilling af frosne gærdeje”.

Projektet er udført som et samarbejde mellem Cerealia Unibake A/S, Cerelia Danmark A/S, Danisco A/S, AGA A/S, De Danske Spritfabrikker A/S, Hans Jensens Maskinfabrik K/S og Teknologisk Institut, Center for Køle og Varmepumpeteknik.

Projektet blev støttet af Direktoratet for FødevarerErhverv under ”Innovationsloven” , j.nr.: 93s-2466-Å02-01527.

Der rettes en stor tak til projektdeltagerne for det konstruktive og gode samarbejde.

Maj 2004

Teknologisk Institut  
Industri & Energi  
Center for Køle og Varmepumpeteknik

Peter Schneider  
Civilingeniør

## 2 Baggrund

Projektet omhandlende optimale procesbetingelser for frosne gærdeje har resultatmæssigt til formål at forsøge og kombinere kvalitetsfordelene ved traditionelt fremstillet friskbagt brød med de mange bekvemmeligheds og produktionsmæssige fordele ved industrielt fremstillet forbagt, frossent brød.

Friskbagt brød primært fra håndværksbagerne har gennem de seneste årtier gennemgået forskellige kriser. Der har været problemer med svingende kvalitet, dårligt arbejdsmiljø, manglende fornyelse, og derudover har der også været problemer med at skaffe personale - både færdiguddannede men især også lærlinge. Problemerne med at skaffe personale skyldes især de meget dårlige arbejdstider, som faget altid har været kendt for, kombineret med små årgange og en til tider lidt for hård tone i bagerierne.

For dårlig kvalitet har været skyld i lukning af rigtig mange bagerier igennem de seneste 15-20 år, og antallet af håndværksbagerere er gennem denne årrække ca. halveret og bliver hele tiden lavere end tidligere.

Konkurrenten til det friskbagte brød er og har primært været forbagt, frossent brød, der dog gennem de senere år er blevet assisteret af forbagt brød bagt enten med konserveringsmidler eller pakket i beskyttet atmosfære.

For forbrugeren er fordelene ved forbagt frossent brød, at man stort set kan have sin egen bager i fryseren, og i løbet af 10 min. er der adgang til friskt varmt brød om morgenen. Prismæssigt har det forbagte frosne brød også været fordel, og derfor er kundegrundlaget vokset hurtigt.

Producenternes fordel ved forbagt frossent brød har været, at de kunne koncentrere sig om forholdsvis få produkter, som de så har kunnet producere i ret store mængder, og derved har det været muligt at nedbringe kostprisen. Da brødet alligevel skulle fryses efter bagning, har man kunnet producere hele døgnet og ikke kun om natten, hvilket har betydet, at man blandt andet har kunnet tiltrække nogle af de bagere, som var træt af kun at arbejde om natten.

Derudover har man været i stand til at standardisere processerne, så man har kunnet klare sig med faguddannet personale på de vitale områder og derved ikke været så tydelig mærket af flugten fra bagerbranchen.

Disse fordele samt håndværksbagerernes problemer har betydet at markedet øjeblikkeligt er blevet delt, og i øjeblikket står industrien nok stærkest.

Fordelene ved det friskbagte brød er, at det er bagt færdigt på én gang, hvilket medfører en kvalitetsmæssig avance for slutforbrugeren, der oplever et produkt med en skorpe, der er tyndere og mere sprød end det genopvarmede, forbagte frosne brød, der har været gennem ovnen til bagning/genopvarmning 2 gange, hvilket medfører en større vandfordampning og derfor en tykkere skorpe.

Det er netop på dette punkt, at dette projekt har sin berettigelse. En optimal løsning inden for disse to yderkanter ville være et frossent dejprodukt, der bare skulle sættes i ovnen og bages, og som så ville være kvalitetsmæssigt ligeså godt som brødet fra de dygtigste håndværksbagere. Det vil ud over en yderligere forbedret konkurrenceevne for industribagerierne også betyde en samfundsmæssig miljøbesparelse, da energiforbruget til fremstilling af det endelige spiselige produkt vil blive væsentlig nedsat.

Fremstilling af forbagt frossent brød plus genopvarmningen hos slutbrugeren betyder en forlængelse af den totale bagetid med 50-100% i forhold til friskbagt brød.

### 3 Præ sentation af virksomhederne

- *Teknologisk Institut, Køle- & Varmepumpeteknik, Teknologiparken, 8000 Århus C (Projektleder)*

Centrets faglige arbejdsområde dækker det køletekniske område fra husholdningskøle- og fryseskabe til store kommercielle og industrielle køleanlæg og indfrysningsudstyr samt store og små varmepumper. Teknologisk Institut fungerer som projektleder og udfører alle dimensionerende termiske beregninger, målinger, forsøg, statistik databehandling, dokumentation og rapportering af de opnåede resultater.

- *Cerealia Unibake, Oensvej 28-30, 8700 Horsens*

Cerealia Unibake udvikler, producerer og markedsfører et bredt sortiment af brød til alle døgnets måltider samt fast food brød under navnene Hatting og Paaskebrød. Cerealia Unibake er slutbrugeren af projektets resultater. Cerealia Unibake vil levere recepter på de dej/brød, der skal undersøges i projektet, samt levere æltekar, raskeskab samt bageovn.

- *Cerealia Danmark A/S, Havnegade 32, 5000 Odense C*

Cerealia Danmark fremstiller gryn, mel, melblandinger samt økologiske produkter. Cerealia Danmark vil til projektet levere forskellige melblandinger.

- *Danisco A/S, Edwin Rahrs Vej 38, 8220 Brabrand*

Danisco A/S er producent af funktionelle ingredienser til levnedsmiddelindustrien. Danisco vil til projektet levere bagestabiliserende ingredienser samt lave målinger på dejens konsistens samt dejens specifikke volumen.

- *De Danske Spritfabrikker A/S, Bredstrupvej 33, 8500 Grenaa*

De Danske Spritfabrikker A/S har Danmarks eneste produktion af bagegær, tørgær og vingær til industriel brug. Produktionen af gær og melassesprit foregår på fabrikken i Grenaa. De Danske Spritfabrikker skal udvikle fryseresistente gærstammer i projektet.

- *AGA A/S, Vermlandsgade 55, 2300 København S*

AGA er en del af Linde-gruppen, der er leverandør af industrielle gasser, herunder levnedsmiddelgasser. AGA udvikler køle- og fryseudstyr til levnedsmiddelindustrien. Til projektet leverer AGA nitrogen indfrysningsudstyr.

- *Hans Jensens Maskinfabrik K/S Østergårdsvej 23-25 8464 Galten*

Hans Jensen Maskinfabrik K/S fremstiller og udvikler frysetunneler til fødevarerindustrien. Til projektet leverer Hans Jensen Maskinfabrik indfrysningsrum med luft.

## 4 Ingredienser

### 4.1 Baggrund

For mange bagerier, restauranter og supermarkeder er brugen af frossen dej en bekvem måde at holde omkostningerne nede på og samtidig producere friske bageriprodukter. Frossen dejs andel af det totale marked for bageri er stadig voksende for hvert år og er i 2002 skønnet til at være omkring 20% af det totale marked for bageri. Området for frossen dej har en vækstrate, der er mere end dobbelt så høj som vækstraten for det normale marked for bageri. Grunden til denne succes for markedet for frossen dej er blandt andet manglen på faglærte/dygtige bagere, behovet for bekvemmelighed ved produktion af bageriprodukter af ensartet kvalitet i levnedsmiddelområder og behovet for at private forbrugere kan tilberede friskbagte produkter med en minimal indsats. Selv om processen med frossen dej har adskillige fordele frem for den traditionelle proces for brødbagning, er et fald i kvaliteten af det færdige brød, noget man til en vis udstrækning må acceptere. Derfor har området for frossen dej været mål for mange undersøgelser i forsøget på at optimere processen og producere bageriprodukter af frossen dej med en stadig stigende kvalitet.

### 4.2 Frysningens indvirkning på dejsystemer

Frysningprocessen påvirker dejsystemer med gær, idet gærens fermenteringskraft falder og der er også et fald i tilbageholdelsen af gas i dejen. Dette kan ses i det færdigbagte produkt som et fald i ovenspring og dermed et fald i specifik volumen sammenlignet med produkter lavet af dej, som ikke har været frosset.

De vigtigste indvirkninger på kvaliteten af brød bagt af frossen dej er:

- Indvirkningen på gærens levedygtighed, dvs. gærens fermenteringskraft
- Indvirkningen på glutennetværk, dvs. egenskaber i tilbageholdelse af gas

### 4.3 Indvirkningen på gærens levedygtighed dvs. gærens fermenteringskraft

Frysningens indvirkning på gærens levedygtighed og dermed gærens fermenteringskraft skyldes primært dannelsen af intracellulære iskrystaller, som ødelægger gærcellerne. Gærcellens cytoplasma vil, hvis den udsættes for temperaturer under dens frysepunkt ( $-1^{\circ}\text{C}$ ), i en periode være i stand til at forblive ufrossen, hvilket betyder, at gærcellen er underafkølet. Gærcellen kan forblive ufrossen ved en temperatur fra  $-10^{\circ}$  til  $-20^{\circ}\text{C}$  afhængig af hvilken type gær, der anvendes. Ved disse temperaturer er gærcellens omgivelser frosne, og dette skaber en forskel i damptrykket over cellemembranen. Denne forskel vil blive udlignet enten ved:

- transport af vand fra den intracellulære cytoplasma ud af gærcellen over cellemembranen
- eller alternativt, hvis frysehastigheden er for hurtigt for denne transport, vil udligningen af damptrykket ske ved dannelsen af intracellulære iskrystaller.

Resultatet er en stigning i koncentrationen af opløste produkter i den intracellulære cytoplasmas ufrosne vand og en ændring i pH. Slutresultatet er et fald i gærens levedygtighed.

For at begrænse fryseprocessens skadelige indvirkning bør man anvende en indfrysningshastighed, der er hurtig nok til at forkorte tiden, hvori cellen er udsat for opkoncentrerings-effekten, og langsom nok til at forhindre dannelsen af intracellulære iskrystaller. Med de industrifrysere, som bruges i dag, overstiger indfrysningshastigheden generelt ikke grænsen for, hvornår intracellulære iskrystaller dannes, og optimeringen bør derfor fokusere på at begrænse tiden, hvor gærcellerne er udsat for opløsningseffekten.

Under fryseopbevaringen vil der forekomme eventuelle intracellulære iskrystaller i gær-cellen. Rekrystallisation af intracellulær is kan skade cellemembranen og derved dræbe gær-cellen. Hvis dette sker, vil gærens fermenteringskraft være tabt, da cytoplasmaen indeholder glutathion, som vil lække fra gær-cellen ind i dejen og dermed have en reducerende effekt på glutennetværket. Dette vil negativt påvirke dejens evne til at tilbageholde gas.

Gær-cellenens livscyklus består af fire faser:

- Mellemrum mellem duplikeringscyklusser
- DNA-syntese (genetisk materiale produceres)
- Mellemrum mellem duplikeringscyklusser
- Celledeling (celleduplikering. Kromosomerne splittes i to identiske dele, en af dem udskilles og transporteres ud af cellen)

Den fase, som gæren befinder sig i, når den fryses, vil have en indvirkning på, hvor følsom gæren er over for frysestress og derved overlevelsesraten gennem fryseprocessen. Gær, der befinder sig i en af de første to ovennævnte faser, når den fryses, vil have en højere overlevelsesrate end gær, som fryses i en af de sidste to faser.

Under anaerobe forhold, hvilket forekommer, når dej fermenteres, foregår reproduktionen langsomt. I en sædvanlig brødbagningsproces er tiden derfor for kort til, at gær-cellerne kan duplikeres, men under de rette aerobe forhold og ved tilstedeværelsen af det rette næringsstof kan gæren reproducere adskillige gange i timen.

Derfor har det en betydelig indvirkning på slutresultatet, at tiden mellem miksning af dejen og indfrysning gøres så kort som muligt. Ved en proces med fuldt raskede deje er dette tidsrum ikke afkortet, og dermed ses ofte forringelser i kvaliteten af det færdige brød i forhold til almindelig produktionsprocesser.

#### 4.4 Indvirkning på glutennetværk, dvs. egenskaber i tilbageholdelse af gas

Under miksningen arbejdes gas ind i dejen. Opløsning af gassen er vigtig for krummestrukturen og dermed for kvaliteten af det endelige produkt. Sammensætningen af gassen ændres under fermenteringen. Efter miksningen og en kort hvilepause er gassen næsten ren nitrogen, men efter fermentering har gassens sammensætning ændret sig og er nu næsten ren CO<sub>2</sub>. Da der er en stor forskel i opløsningen af de to gasser, især ved lave temperaturer, er resultatet, at med lang gæring og efterfølgende kølning/frysning mister dejen nogle gasceller. Da gæren ikke er i stand til at danne nye gasceller, men kun til at producere CO<sub>2</sub>, som vil forstørre eksisterende gasceller, er resultatet, at en mere grov krummestruktur opnås. I tabel 1 vises opløsningen af gasserne ved forskellige temperaturer.

	Nitrogen	CO <sub>2</sub>
28 °C	14	650
0 °C	23	1650

*Tabel 1: Opløsning af nitrogen og kuldioxid i vand ved forskellige temperaturer [cm<sup>3</sup>/l ved 1 bar].*

Dette er endnu et argument for at tiden mellem miksning af dej og indfrysning bør holdes på et minimum. Dog skal det tages i betragtning, at dejen skal have en hvilepause for at udvikle et godt og stærkt glutennetværk.

Diskussionen om de to parametre, gærens levedygtighed og opløsning af gasser, viser, at man skal være omhyggelig for at opnå gode egenskaber i tilbageholdelsen af gas i dejen. Dette gøres normalt ved at sikre en god miksning, ved brug af ekstra ascorbinsyre, ekstra gluten, hvis proteinindholdet eller proteinsammensætningen af melet er for lavt, ved brug af emulgatorer som PANODAN® DATEM og en optimal sammensætning af enzymer.

Rekrystallisationen af is i dejen øges med fryselagringstiden. Derfor ses en stor forskel i produktet, der har været udsat for en kort fryselagringstid og produktet, der har været udsat for længere fryselagringstid. Hydrokolloider, som nedsætter rekrystallisation kan være vigtige funktionelle ingredienser i produkter med lang fryselagringstid.

Inden for området med frossen dej er fuldt rasket frossen dej produkt, det er sværest at opnå gode resultater med. Raskningen før indfrysningen er meget skadelig for gærens levedygtighed under fryselagring, og på samme tid ændres gasfasen i dejen fra nitrogen til CO<sub>2</sub>, som har en meget højere opløsning i dejvæsken.

Nettoresultatet er, at man ofte ser en meget grov krummestruktur og en relativ lav volumen i det endelige produkt i produkter fremstillet ved denne produktionsprocess.

Følgende ingrediensløsninger har været anvendt i projektet:

Helbrød

Receipt 1 Helbrød	dosering %	dosering ppm
PANODAN® A2020 DATEM	0,5	
GRINDSTED® Pectin RS 461	0,5	
GRINDAMYL™ FD 48 Bakery Enzyme		200
Gluten	2	
Ascorbic acid		100

Receipt 2 Helbrød	dosering %	dosering ppm
PANODAN® A2020 DATEM®	0,5	
GRINDAMYL™ SUREBake 800 Bakery Enzyme		200
GRINDAMYL™ FD 26 Bakery Enzyme		200
Gluten	2	
Ascorbic acid		100

Baguette

Receipt 1 Baguettes	dosering %	dosering ppm
PANODAN® A2020 DATEM®	0,6	
GRINDSTED® Pectin RS 461	0,5	
GRINDAMYL™ FD 48 Bakery Enzyme		210
Gluten	2	
Ascorbic acid		150

Receipt 2 Baguettes	dosering %	dosering ppm
PANODAN® A2020 DATEM®	0,6	
GRINDAMYL™ SUREBake 800 Bakery Enzyme		200
GRINDAMYL™ FD 26 Bakery Enzyme		200
Gluten	2	
Ascorbic acid		150

## *PANODAN® DATEM*

PANODAN® DATEM er Danisco's emulgator bestående af diacetyl vinsyreester af monoglycerid. Denne emulgator har i dejsystemer med gluten en opstrammende effekt på glutennetværket, som medfører en bedre gas tilbageholdelse, og dermed at voluminet på brødet øges. Idet der under frysning ses en destabilisering af glutennetværket pga. bl.a. denaturering af proteinerne, giver emulgator signifikant positive effekter i frosne dejsystemer. Den præcise mekanisme kan ikke forklares fuldt ud, men en væsentlig faktor er, at ioniske emulgatorer såsom PANODAN® vil interagere med bestemte proteiner i dejen samt reagere med de lamellare protein- og lipdfaser i dejen og derved styrke glutennetværket. Dette medvirker, at dejens glutennetværk bliver mere strækbart og fleksibelt. Den øgede fleksibilitet i dejen medfører, at dejens evne til at tilbageholde gas forbedres, og dermed bliver det færdige brøds volumen større.

## *Pectin*

Pectins virkemåde i dejsystemer er ikke fuldt klarlagt og forstået. Primært formodes pectin at optage en del af vandet og dermed mindske graden af rekrystallisering af iskrystaller under frysning. Hermed kan frysningens negative effekt på gær og glutennetværk nedsættes. Desuden formodes pectin, som er en ionisk hydrocolloid, at have mulighed for at reagere med glutenproteinerne og dermed bidrage til en styrkelse heraf.

## *Enzymer*

Enzymerne, der er anvendt i disse forsøg, er henholdsvis xylanase, amylase (GRINDAMYL™ FD 48 Bakery Enzyme og GRINDAMYL™ FD 26 Bakery Enzyme) og hexoseoxidase (GRINDAMYL™ SUREBake 800 Bakery Enzyme).

Enzymerne kan på hver deres måde bidrage til et forbedret resultat af det færdige brød.

## *Xylanase*

Virke måden for xylanase er primært, at dette enzym er i stand til at opløseliggøre den ellers uopløselige fraktion af den endosperme cellevæg, som kaldes arabinoxylan. Arabinoxylan har i sig selv en negativ effekt på glutennetværkets dannelse, idet det med sin store molekyl størrelse fysisk er i stand til at gennebryde netværket og dermed nedsætte dets evne til at tilbageholde gassen som gæren producerer. En yderligere virkemåde er en hydrocolloid-effekt, som opstår ved opløseliggørelsen af arabinoxylan. Ved den rette dosering af xylanase opnås en øget vandbinding i systemet, som kan mindske fryseskader under lagring (nedsat rekrystallisation under frysning).

## *Amylase*

Amylase virker i dejsystemet ved at nedbryde stivelsen (amylose). Herved nedsættes viskositeten i dejen og dejhåndteringen bliver bedre. Når stivelsen nedbrydes, er resultatet forskellige typer sukker, som er en vigtig substratkilde til gærens fermentering i dejsystemet. Når gæren, som i det frosne dejsystem er stresset, er det nødvendigt, at der er en række basale næringsstoffer for metabolisme til stede - heriblandt sukker.

### *Hexoseoxidase*

Hexoseoxidase virker i dejsystemet ved oxidation af forskellige typer af sukker, hvorved der dannes en korresponderende lacton samt hydrogen peroxid. Hydrogen peroxid reagerer med de frie svovlgrupper i glutennetværket, hvorved der dannes disulfid-bindinger imellem disse. Disse bindinger er meget stærke og medfører en markant struktur og dermed evnen til at modstå stress under fryselagring.

De to ingrediensløsninger er sammensat ud fra et ønske om at optimere systemet enten ved hjælp af pectin eller uden hjælp af pectin. I løsningen uden brug af pectin søges systemet i stedet styrket ved øget dosering af xylanase samt ved hjælp af hexoseoxidase.

Begge ingrediensløsninger repræsenterer således fuldt optimerede systemer, men med hver deres virkemåde. I begge ingrediensløsninger er der anvendt et basisniveau af PANODAN® A2020 DATEM, gluten og ascorbinsyre.

### *Meltype*

En stor del af vort daglige behov for næringsstoffer dækkes af fødevarer, som er fremstillet af de mest kendte kornsorter i Skandinavien - såsom hvede, rug, byg og havre.

Hvedemel, som er en vigtig råvare til bagning og madlavning, bliver fremstillet ved formaling, som består af en række findelingsprocesser med efterfølgende sigtning, hvor hvede separeres i følgende produkter:

- Mel
- Klid
- Strømel
- Kim

Taler man om hvedemelsbaking, må man sondre mellem baking af gærbrød, kager eller biscuits m.m.

De faktorer, som er afgørende for gærbrødsbaking, er:

- Glutenkvalitet
- Glutenkvantitet
- Vandoptagelse
- Æltestabilitet
- Forklistring

### **Gærbrødsbaking og melkvalitet**

Selve procesforløbet kan opdeles i følgende 3 processer:

Dejlægning

Modning

Baking

Ønskes dejen frosset efter modning kræves der en kraftigere hvedemelskvalitet.

Til projektet "frosne gærdeje" er der anvendt en hvedemelskvalitet med følgende specifikationer:

- Vådgluten 32,0%
- Sedimentation > 40 ml
- Protein 14,5 %
- Vandoptagelse 59,0%
- Dejstabilitet > 10,0 min.
- Blødgøring < 60 FE
- Amylogram 450 AE
- Forklstringstemperatur 83°C
- Brødvolumen 690 ml / 100 g mel
- Ascorbinsyre tilsat 4 g per 100 kg hvedemel

## 5 Anvendt bageudstyr

### **Æltekar**

Type: Diosna Spiralælter SP 120 D Automatik (se bilag 1).

Beskrivelse: Enarmet spiralælter til dejstørrelse på maks. 75 kg mel.

### **Afvejer**

Type: Benier Afvejer B84 (se bilag 2).

Beskrivelse: Etkammer afvejer til vægt område fra 200-1000 g. Teflonbelagt tragt og fundament.

### **Rundvirker**

Type: Benier Rundvirker All Round (se bilag 3).

Beskrivelse: Rundvirker med teflonbelagt kegle og rinder. Indstillelige rinder og 2 ventilatorer.

### **Langruller**

Type: Benier Langruller MS 500 (se bilag 4).

Beskrivelse: Kompakt langruller til opslåning af baguetter og helbrød.

### **Raskeskab**

Type: Miwe Roll Inn Raskeskab

Beskrivelse: Roll Inn raskeskab med plads til 2 stikvogne.

### **Ovn**

Type: Miwe Roll Inn Stikovn (se bilag 5).

Beskrivelse: Elopvarmet enkelt stikovn med programmer for afbagning, herunder mulighed for div. dampintervaller.

## 6 Fryseudstyr

### 6.1 Indfrysningshastigheden

I dette projekt vil forskellige indfrysningsprocesser, som giver vidt forskellige indfrysningshastigheder, blive undersøgt. Den er defineret som den hastighed, isfronten bevæger sig ved gennem produktet.

Krystaldannelse er årsag til nedbrydning af glutennetværket i dejen. Dermed nedsættes dejens evne til at holde på kuldioxid, og det specifikke volumen af det færdigbagte brød er ikke så stort som ønsket.

Indfrysningshastigheden har indflydelse på, hvilken slags krystaller, der dannes i dejen. Langsom indfrysning vil antageligt skabe store intercellulære krystaller, mens hurtig nedfrysning vil skabe mange små krystaller, der kan vokse gennem gærceller. Langsom afkøling vil skabe saltkoncentrationsforskelle mellem celle og omgivelser, hvilket vil øge diffusionen af vand og dermed øge skrumpningen af dejen.

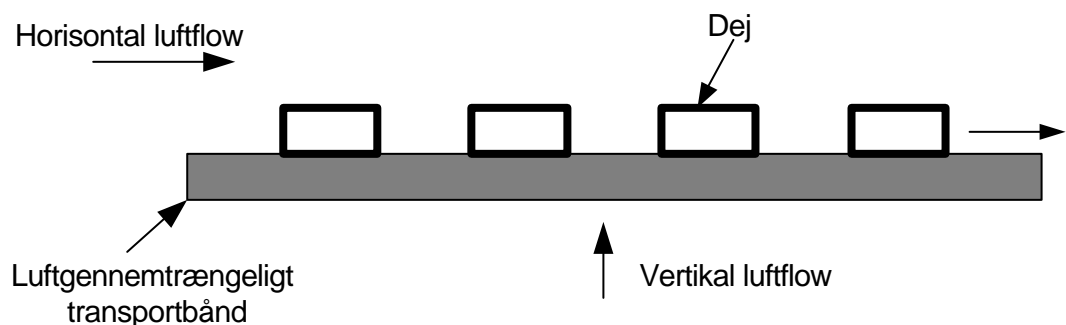
Dejens geometriske form vil have indflydelse på nedkølingshastigheden. Frysehastigheder på 10-30 cm/h kaldes hurtig frykning, 0,1-1,0 cm/h kaldes almindelig frykning, og frysehastigheder under 0,1 cm/h kaldes langsom frykning.

De indfrysningsprocesser, der vil blive undersøgt i dette projekt, repræsenterer spektret fra langsom til hurtig afkøling. Afkølingshastighedens indflydelse på kvaliteten og det specifikke volumen af færdigbagt brød vil blive undersøgt.

Følgende tre indfrysningsprocesser blev anvendt i forsøgene:

1. Luftfrysning. Projektansvarlig - Olaf Møller , Hans Jensens Maskinfabrik K/S
2. Immersionsfrysning. Projektansvarlig - Peter Schneider, Teknologisk Institut
3. Nitrogenfrysning. Projektansvarlig - Jens M. Svendsen, AGA A/S

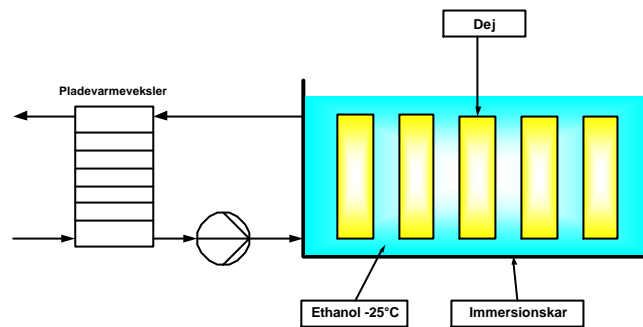
*Indfrysning med luft:*



Figur 1: Skitse af indfrysning med luft.

Dejen bliver typisk nedfrosset i de såkaldte blæstfrysere, hvor luft med en hastighed på 4 m/s og en temperatur på  $-30^{\circ}\text{C}$  cirkuleres hen over dejen. Dejen kan blive nedkølet af et luftflow, der enten strømmer vertikalt eller horisontalt over dejen. Ønskes hurtigere nedkøling af dejen, kan lufthastigheden hæves, eller lufttemperaturen kan sænkes. Nedfrysning med luft repræsenterer en proces med lav indfrysningshastighed.

### 6.1.1 Immersionsfrysning

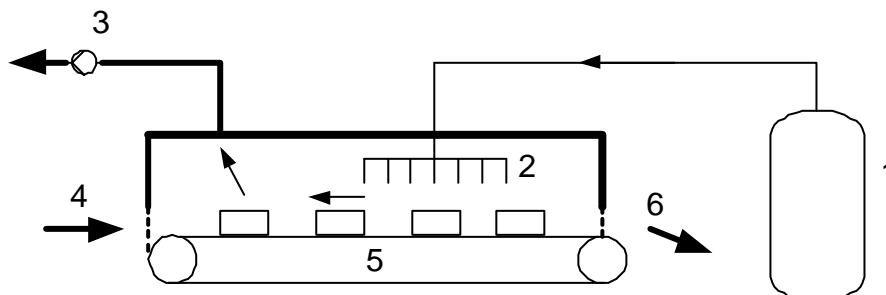


Figur 2: Skitse af immersionsfrysning.

Dejen nedsænkes direkte i den kølende væske (ethanol). Dette giver betydelig højere varmeovergangstal end køling med luft.

Ethanolens pumpes igennem karet vha. en pumpe. Ethanolens afkøler dejen og ledes videre til en varmeveksler, hvor det køles af et køleanlæg. Temperaturen i karet holdes på  $-25^{\circ}\text{C}$ . Dejprodukter er fra naturens side ubeskyttet over for indtrængende salte, ethanol og andet, så for at lukke skallen af dejen chockfryses dejen først ved  $-60^{\circ}\text{C}$  i  $\text{N}_2$ -båndfryser (vist i afsnittet under nitrogenfrysning).

### 6.1.2 Indfrysning med nitrogen



Figur 3: Skitse af indfrysingsanlæg med nitrogen.

Fra beholder 1 ledes flydende nitrogen gennem dyser 2 og afkøler dejen, der bliver bragt ind i fryseanlægget ved 4 og kører på transportbåndet 5 og ud ved 6. Nitrogen fordamper på overfladen af dejen, og de dannede dampe anvendes til at forkøle dejen, inden dampene suges af med pumpe 3.

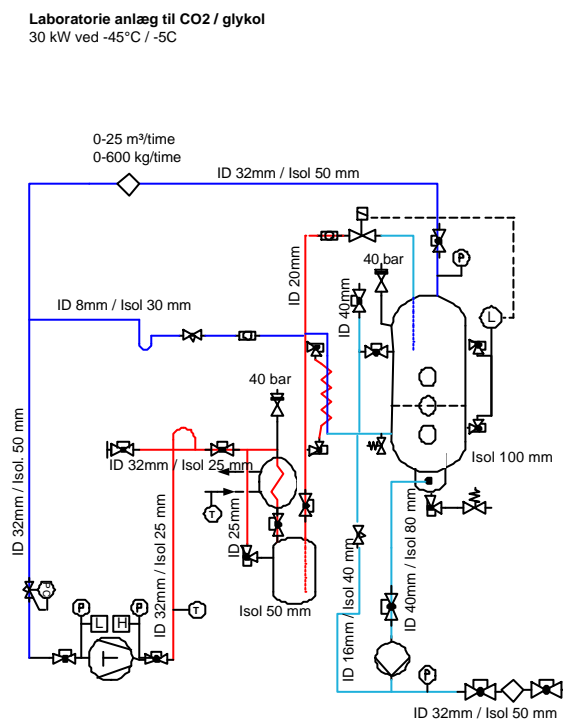
Nitrogen fordamper ved  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Nitrogenfrysning repræsenterer en hurtig indfrysningproces.

## 6.2 Beskrivelse af køleanlæg til luftfrysning med $\text{CO}_2$ som kølemiddel

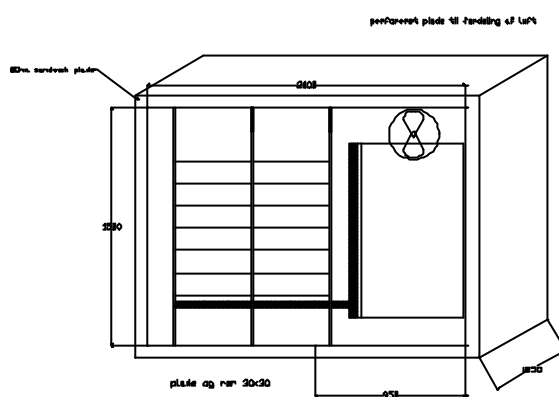
$\text{CO}_2$  adskiller sig fra ammoniak, idet det er muligt at operere køleanlæg med lavere fordampningstemperatur og dermed lufttemperatur, der afkøler dejen. Typiske lufttemperaturer med ammoniak som kølemiddel er  $-35^{\circ}\text{C}$ , hvorimod der kan opnås lufttemperaturer på  $-45$  til  $-50^{\circ}\text{C}$  med  $\text{CO}_2$ . Dette har indflydelse på både kapaciteten af indfrysingsudstyret samt på produktkvaliteten. Med  $-45^{\circ}\text{C}$  opnås en betydelig hurtigere indfrysningstid end med ammoniak.

Til projektet blev der opbygget et lavtemperatur  $\text{CO}_2$ -køleanlæg, der er vist i figur 4.



Figur 4: Procesdiagram for lavtemperaturkøleanlæg.

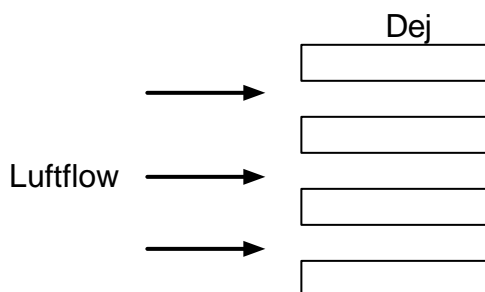
Anlægget er opbygget som pumpecirkulationssystem, hvor en pumpe cirkulerer kølemidlet ud til indfrysingsudstyret, hvor det afkøler luften og fordamper. Kølemidlet ledes som en væske-gas-blanding tilbage til pumpeseperatoren, hvor væsken udskilles og falder ned i beholderen. Den dannede damp suges af i toppen og ledes til kompressoren, der komprimerer gassen op mod en brinekølet kondensator, hvor kølemidlet kondenserer ved  $-10^{\circ}\text{C}$ . Det kondenserede kølemiddel opsamles i en receiver, der er placeret under kondensatoren. I pumpeseperatoren sidder en niveaustav, der måler væskeniveauet i beholderen. Ved faldende niveau åbner en magnetventil i toppen af pumpeseperatoren og sender væske ind fra receiveren. Ved stigende væskeniveau lukker magnetventilen. Trykket i pumpeseperatoren svarer til en fordampningstemperatur på  $-40^{\circ}\text{C}$ .



Figur 5: Skitse af fryserum med luft.

Figur 5 viser fryserum, som er fremstillet af Hans Jensens Maskinfabrik K/S. Til højre i fryserummet sidder fordamperen, der er tilsluttet køleanlægget. Over fordamperen sidder ventilatoren, der cirkulerer luften rundt i fryserummet. Luften cirkuleres over dejen, der er placeret på bakker. Luften cirkulerer hen over dejen med en hastighed på  $3\text{ m/s}$  og med en lufttemperatur på  $-35^{\circ}\text{C}$ , og derved fryses dejen. Luften bliver på den måde varmet op og returneret i bunden af fordamperen og bliver kølet ved at passere henover fordamperen.

Placering af deje i forhold til luftretningen:



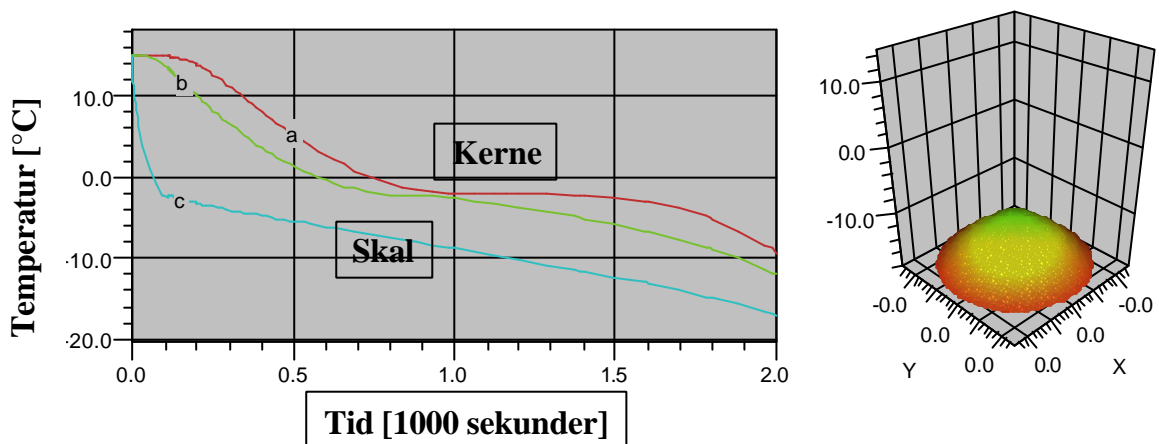
Figur 6: Flowretning over dejene.

For at opnå en så ensartet flowretning og temperaturprofil hen over dejene som muligt, skal dejene placeres som vist i figur 6.

### 6.2.1 Simulering af indfrysningforløb

Figur 7 viser en simulering af indfrysningsskurven for et helbrød for frysning med luft. Det ses, hvor stor forskel, der er mellem indfrysningstiden for henholdsvis kernen og skallen af dejen. Det fremgår også, at der kan gå op til 2000 sekunder før temperaturen mellem skal og kerne er udlignet. Grunden til dette er dejens store  $\text{CO}_2$ , der dannes under hæveprocessen.  $\text{CO}_2$  nedsætter varmeledningsevnen (evnen til at lede varme gennem dejen), og det tager derfor længere tid før der sker en intern temperaturudligning. Dette har også betydning for produktkvaliteten, idet skallen hurtigere bliver frosset end kernen.

Simulering er lavet i Finite element program med stofværdier for dejen taget efter ref. [1].



Figur 7: Simulering af indfrysningforløb for baguette.

Beregningen er foretaget på en baguettedej med dimensionerne  $l \times d = 30 \times 5$  cm.

### 6.3 Nitrogenfrysning

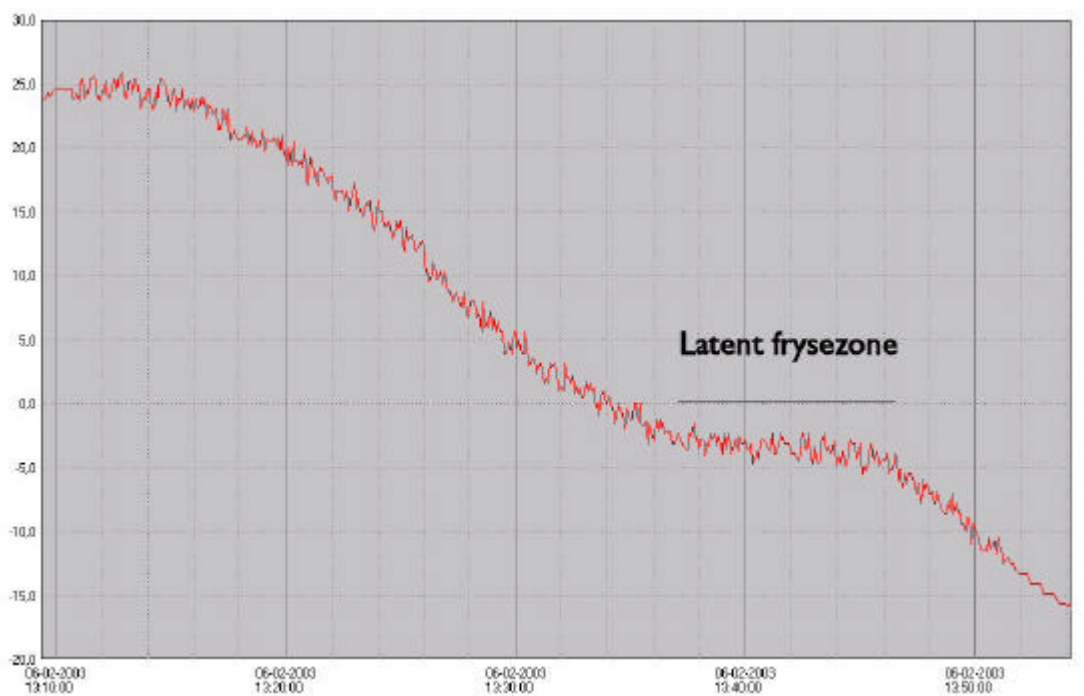
I forbindelse med frysning med nitrogen, blev der anvendt to forskellige former for nitrogenfrysere - dels en skabsfryser og en tunnelfryser.

Nitrogenfrysere adskiller sig primært ved, at selve frysemediet kommer i direkte kontakt med produktet. Herved opnås dels en fordampning direkte på selve produktet, og en meget lav gastemperatur.

Flydende nitrogen ( $\text{N}_2$ ) har en temperatur på  $-196^\circ\text{C}$  (1 atm). Ved fordampningen opnås  $199 \text{ kJ kg}^{-1}$ , og den dannede gas har en varmekapacitet på  $1,04 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ( $15^\circ\text{C}$ ).

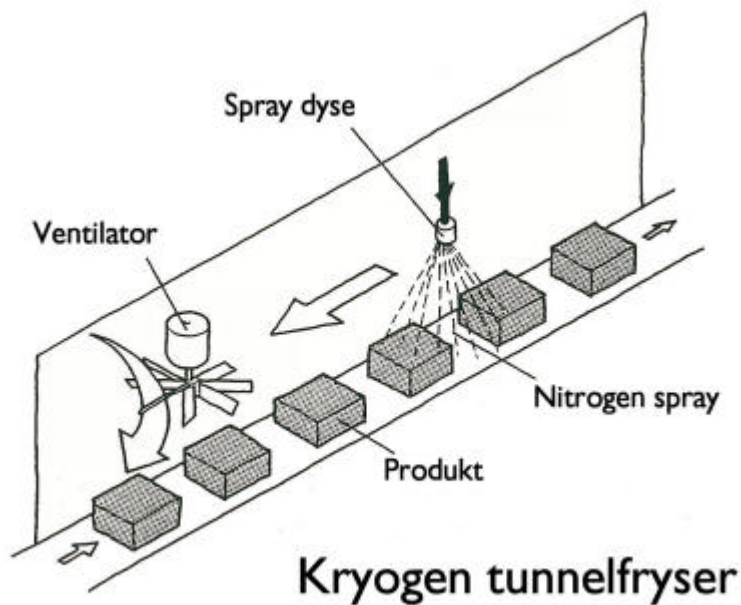
Et typisk temperatur arbejdsområde for en nitrogenfryser er  $-40^\circ\text{C}$  til  $-80^\circ\text{C}$ . Den lave temperatur bevirker at frysningen forløber hurtigere sammenlignet med en frysning ved  $-20^\circ\text{C}$  til  $-30^\circ\text{C}$ , der er normal ved en konventionel blæst frysning.

På figur 8 ses et fryseforløb for brød. Temperaturen i fryseren er sat til  $-60^{\circ}\text{C}$ , og målingen af temperaturen i brødet er målet i centrum. Ved ca.  $-3^{\circ}\text{C}$  falder temperaturen ikke med samme hastighed som ved resten af fryseforløbet, hvilket skyldes, at vandet ved denne temperatur begynder at fryse i brødet. Fasen i fryseforløbet kaldes den latente frysezone.



Figur 8: Temperaturkurve for frysing af brød.

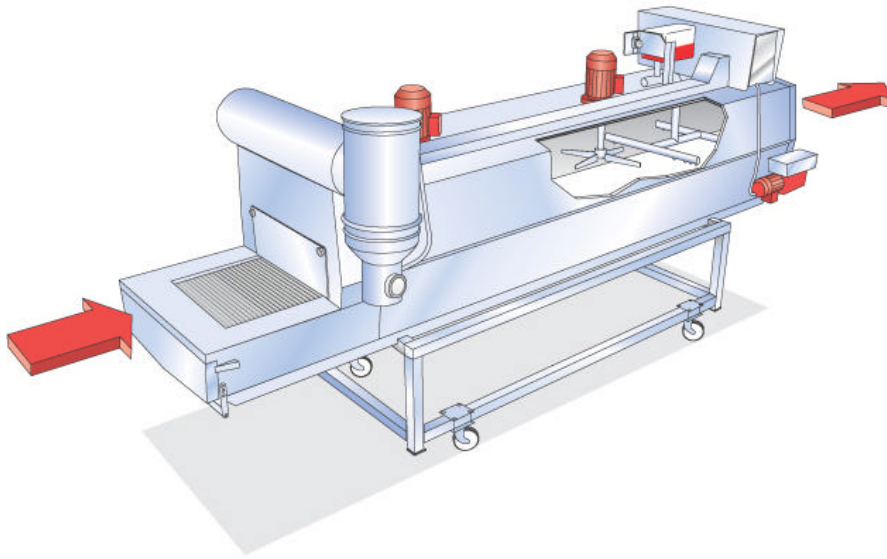
Hvis der fryses ved lave temperaturer, vil produktet hurtigt komme igennem den latente frysezone, mens høje frysetemperaturer vil bevirke, at tiden i den latente frysezone forlænges. Opholdstiden i den latente frysezone har blandt andet betydning for størrelsen af de iskrystaller, der dannes i produktet. Jo længere tid i den latente frysezone - jo større iskrystaller vil der dannes. Store iskrystaller giver ofte anledning til et forøget dryptab og ødelagt tekstur.



Figur 9: Principtegning af funktionen af en nitrogen tunnelfryser.

Figur 9 viser de grundlæggende principper ved en nitrogen frysetunnel. Produktet transporteres igennem fryseren på bånd af stålnet. Inde i fryseren skabes der ved hjælp af ventilatorer en kraftig cirkulation. Ved udgangen af fryseren doseres nitrogenen. Gennem en række dyser, sprøjtes der flydende nitrogen på produktet. Den flydende nitrogen vil fordampe, og dermed fjernes der varme fra produktet. Den kolde gas, der dannes ved fordampningen, føres ved hjælp af ventilatorerne gennem fryseren imod båndløbsretningen, hvor den til sidst suges ud af fryseren.

Ved hjælp af båndhastigheden styres den ønskede frysetid. Temperaturen i tunnelfryseren styres ud fra det signal, en PT100-føler måler lige bag sprayzonen, hvor der doseres flydende nitrogen.



Figur 10: Nitrogen tunnelfryser, der blev anvendt ved frysning af brød og baguettes.

Figur 10 viser den anvendte nitrogen tunnelfryser af typen AGA Freeze LM. Denne fryser blev anvendt til skalfrysning af de forhævede brød.



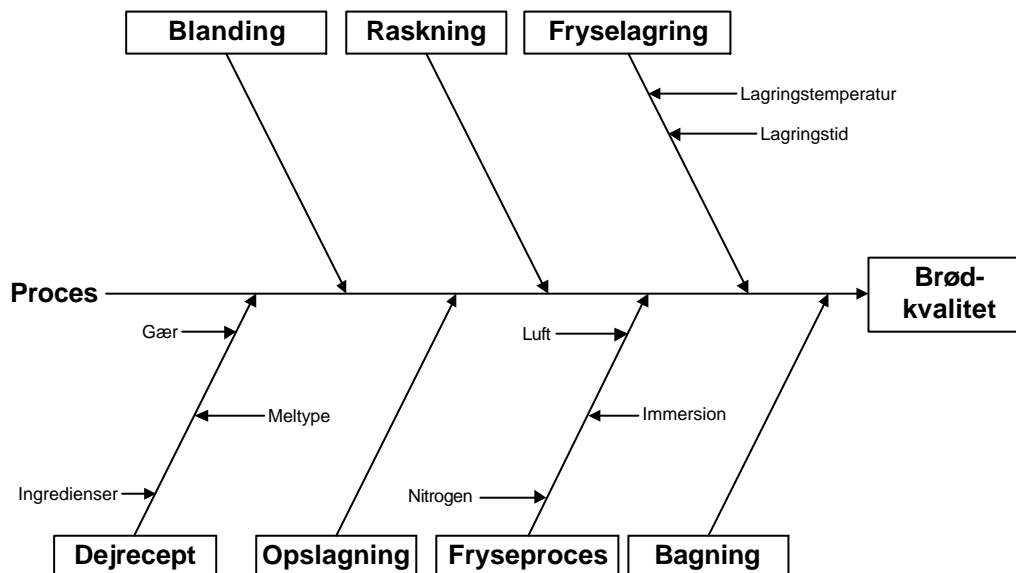
Figur 11: Skabsfryser.

Figur 11 viser det nitrogen fryseskab, som blev anvendt ved indfrysningen. Skabet adskiller sig fra nitrogentunnelen ved at fryse batchvis.

Et helt stik med brød stilles ind i skabsfryseren. Langs den ene side i fryseren sidder der en række dyser der dosser nitrogen på produktet. Samtidig med nitrogen dosseringen sørger ventilatorer for at gassen cirkuleres rundt om produktet så der opnås en effektiv nedkøling.

## 7 Forsøgsplanlægning

Figur 12 viser, hvilke processer og ingredienser, der har betydning for kvaliteten af friskbagt brød.



Figur 12 : Fiskebensdiagram for fremstilling af frosne gærdeje.

Brødtyper:

Helbrød  
Baguette

Dejrecept:

Ingredienser: 2 typer  
Gær: 1 type  
Mel: 1 type (højt indhold af protein)

## 8 Blanding, opslagning og raskningsprocesser

Det antages, at variationer i blandings-, opslagnings- og raskningsprocessen er minimale, og derfor ikke har indflydelse på brødkvaliteten. Dette gøres for at minimere antallet af faktorer, der skal undersøges. Processerne optimeres først inden selve forsøgene.

### Fryseprocessen

Nitrogenfrysning: nitrogentemperatur  $-60^{\circ}\text{C}$

Immersionsfrysning: væsketemperatur  $-25^{\circ}\text{C}$

Luftfrysning: lufthastighed 3 m/s og lufttemperatur  $-35^{\circ}\text{C}$

Derudover laves en opstilling, hvor nitrogenfrysning anvendes som skalfryser inden immersionsfrysning.

### Fryselagring

Fryselagring: Fryselagring i 1-8 måneder ved  $-22^{\circ}\text{C}$

Sammenligningsgrundlag: Par-baked brød

## 9 Batchstørrelser

Batchstørrelser: 75 kg dej.

## 10 Forsøg

### 10.1 Recept

Recepterne er valgt ud fra, at de fungerer i industriel produktion hos Cerealia Unibake A/S. De funktionelle ingredienser er udvalgt og sammensat af Danisco (se afsnit 3 om ingredienser).

### 10.2 Miksning/æltning

Ud over at samle råvarerne til en homogen masse er æltningens opgave også at modne melets gluten og at gøre glutenet strækbart, så det kan udvikle sig mere under raskningen og bagningen. Det er altså en mekanisk bearbejdning, dejen bliver udsat for, mens det senere i processen mere er kemiske processer, der modner dejen.

Hvor lang tid, en dej skal æltes, afhænger af råvarerne - især melets kvalitet og af mikseren. Den langsomme hastighed bruges normalt til at samle de forskellige ingredienser til en homogen masse, mens den hurtige hastighed bruges til at modne melets proteiner (gluten). Når man ælter i den hurtige hastighed, tilføres dejen masser af energi, og med energi tilføres der varme. Jo længere tid man ælter i høj hastighed, jo mere varme får man ind i dejen, hvilket der skal tages højde for ved dosering af vandet (vandtemperatur).

Dejens udviklingshastighed sker bedst ved en dejtemperatur på 26-27°C, hvor dejen/brødets udvikling af kvalitet og holdbarhed har optimale betingelser. For varme deje vil medføre klistrede og fedtede deje, der skaber problemer senere i processen f.eks. i opslåningen. Varme deje vil også medføre en løs og uens struktur i brødet, som igen vil have indflydelse på brødets holdbarhed.

Kolde deje vil betyde en for langsom udvikling af dejen, og de reologiske egenskaber i dejen vil være ændrede, så både opslåningen og udviklingen i raskeskabet kan vanskeliggøres af manglende elasticitet.

Miksningen af dejen blev bestemt og indstillet til: 1 min forblanding af ingredienser – 2 min. langsom miksning og 6 min. hurtig miksning. Det blev subjektivt vurderet af tre bagere til at give den optimale udvikling af glutennetværket.

### 10.3 Afvejning

Afvejningen af helbrødene og baguetterne med dejvægt på hhv. 550 g og 350 g blev valgt som værende gode standard brødstørrelser i hver kategori.

### 10.4 Rundvirkning

Dejstykkerne rundvirkes/opvirkes efter afvejning, så glutenstrukturen opstrammes, og dejstykkerne får samme form inden hviletiden.

## 10.5 Liggetid

Liggetiden/hviletiden er en periode, hvor dejen af flere årsager slapper af. Dels fordi gluten-netværket her er så stramt, at det vil blive revet i stykker, hvis man slår dejen op lige efter rundvirkeren. Liggetiden har også funktion som en forhævning, hvor der ved gæringen begynder at dannes alkohol, kulsyre og andre syrer, der alle er med til at skabe et velsmagende brød med flot struktur.

Liggetiderne til disse forsøg blev valgt ud fra, at dejstykkerne skulle være tilpas afslappede til, at man skulle kunne lave nogle pæne ensartede brød, henholdsvis baguette og helbrød. For at dette kunne opnås, skulle baguetterne hvile i 20 min., mens helbrødene havde en hviletid på 10 min. inden opslåning. Baguetterne hviler i længere tid, da disse skal stresses mere ved den efterfølgende langrulning.

## 10.6 Langrulning

Langrulningen er selve opslåningen eller formningen af dejen. Her bliver lidt af luften først presset ud, mens dejen presses lidt flad. Det flade dejstykke sammenrulles under et netbånd, inden det kommer ind i kanalen, hvor selve formningen af dejen foregår. Her kan man, alt efter hvor meget man trykker dejrullen, bestemme helbrødets eller baguettens endelige form.

## 10.7 Raskning/hævning

Efter opslåningen/langrulningen anbringes brødet i raskeskabet for at optimere forholdene for raskeprocessen, og for at undgå skorpedannelse på brødet.

Formålet med raskningen er at få de kompakte dejstykker lette og luftige, og da gæren har sin største CO<sub>2</sub>-udvikling ved temperaturområdet 30-38°C, indstilles temperaturen til 32°C i raskeskabet.

Temperaturen i raskeskabet bør ligge 6-8°C over dejtemperaturen for at opnå den bedste hævnings. Bliver temperaturen for høj i forhold til dejtemperaturen, vil man få en uens raskning af brødet med en hullet struktur i brødets ydre og en meget kompakt kerne i brødet. Da dejen er en meget dårlig varmeleder, er en ens dejtemperatur af største vigtighed for dens udviklingstid, da der ikke ret hurtigt vil ske en udligning af temperaturen i raskeskabet.

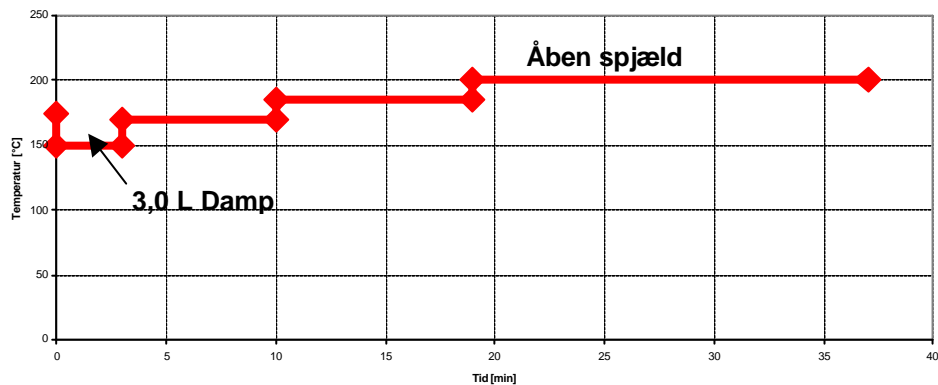
Den relative fugtighed under raskningen blev fastsat til 75% ud fra en vurdering af, at dette var det optimale til de brødtyper, der indgår i vores forsøg. Ved for lav RF dannes der skorpe på dejen, som forhindrer dejen i at udvikle sig ordentligt, og man risikerer at få uønskede revner i brødet under bagningen. Er den relative fugtighed derimod for høj, vil der være risiko for, at dejen flyder ud. Både for høj og for lav relativ fugtighed har indflydelse på volumen på det færdige brød og vil i begge tilfælde være forkert i forhold til brødtypen.

Rasketiden (den tid, hvor brødene hæver efter opslåningen og indtil indfrysningen begynder) er et meget vigtigt parameter i hele projektets forsøgsmatrix. Teorien siger, at det optimale punkt for deje, der skal indfryses efter raskning og lagres inden afbagningen, ligger ved ca. 80% af normal raskning (fuld raskning) for det givne produkt. Vi valgte en rasketid, som vi vurderede til ca. 80% af fuld raskning. Derefter opsatte vi yderpunkterne +/- 5 minutter i forhold til dette. Dvs. at forsøgsrækkerne for helbrød kom til at hedde 35-40-45 minutters raskning og for baguetterne 30-35-40 minutters raskning.

Er brødet rasket for lidt, vil man se og opleve betydelige forringelser i brødkvaliteten, blandt andet revner i skorpen under bagning, en tæt og tung krumme m.m. Er brødet derimod rasket for længe, oplever man typisk, at faconen begynder at blive mere udfladende, og strukturen i krummen bliver mere åben og uens.

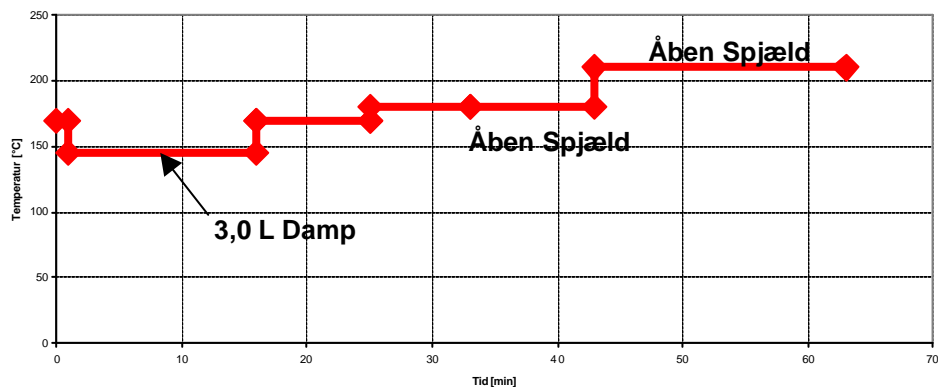
### 10.7.1 Bagning

#### Bagekurve baguette



Figur 13: Bagekurve for baguette.

#### Bagekurve helbrød



Figur 14: Bagekurve for helbrød.

Figur 13 og figur 14 viser bagekurven for henholdsvis baguettes og helbrød. Bagekurverne er ikke optimerede i dette projekt. Det vil sige, at der antageligt kan hentes visse forbedringer i produktkvaliteten ved at optimere bagekurven. Bagekurverne, der er anvendt i dette projekt, er ligeledes for lange til at kunne anvendes industrielt.

## 10.8 Forsøgsdata

Nedenstående skema viser samtlige forsøg udført med variation af følgende parametre :

- Fryseprocesser: Nitrogen, luft samt N<sub>2</sub>/immersionsfrysning.
- Brødtyper: Baguettes og helbrød
- Recept: Recept 1 og recept 2 optimeret for henholdsvis baguette og helbrød.
- Rasketid: Baguette: 30, 35 og 40 minutter  
Helbrød: 35, 40 og 45 minutter
- Frostlager: 2 uger, 1 måned, 3 måneder og 8 måneder

	Nitrogen											
Dej	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes
Recept	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	35	40	47	35	45	42	30	35	40	40	35	30
Vand temp	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	18	18	18	18	18	18
Dej temp	24,2	24,4	24,2	24,2	24,4	24,5	28,2	28,4	27,9	26,8	27,6	27,7
Temperatur	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
Tid	30	35	40	40	45	35	24	25	27	35	30	30
Kernetemp	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10

	Luffrysning											
Dej	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes
Hydro	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	40	45	35	35	40	45	30	35	40	40	35	30
Vand temp	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	18	18	18	18	18	18
Dej temp	26,6	26,4	26,6	26	26,2	26,1	26,6	26,4	27,4	28	27,9	27,6
Temperatur	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35
Tid	55	50	50	60	60	60	40	40	40	40	40	40
Kernetemp	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-10	-10	-10	-10	-10	-10

	N2/Immersion											
Dej	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes
Hydro	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	35	40	35	40	45	45	40	30	35	40	35	30
Vand temp	15,1	14	14,5	13	12	10,5	10,6	10,2	12	12,5	12,2	12,5
Dej temp	22	23	24	25	25,6	26,5	26,7	26,8	27,1	27,5	26,5	27
Temperatur	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25	-88 og -25
Tid	3,5 m/30 m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m
Kernetemp	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10

Tabel 2 : Fremstillede deje.

Fremstilling af dejene foregik hos Teknologisk Institut i Århus. Efter raskningen blev dejene indfrosset, og umiddelbart derefter blev de anbragt i frostrum ved -20°C inden transport med lastbil med fryserum fra Teknologisk Institut til Cerealia Unibake. Der blev dejene opbevaret under frost ved -22°C inden de 4 afbagninger.

Efter udtagning af dejene fra frostlager lå dejene til optøning i 20 minutter, inden dejene snittede, og umiddelbart efter bages dejene. Efter bagning afkøles de bagte brød til stuetemperatur, og brødene vurderes på følgende størrelser:

- Krumme
- Sprødhed
- Snit
- Ausbund (hvor god energi er der i brødet)

Størrelserne vurderes for hver enkelt brød på en skala fra 1-10, hvor 10 er det bedste for henholdsvis baguettes og helbrød. Ud over de 4 sensoriske størrelser måles det specifikke volumen af brødene ved at måle vægten samt brødets volumen. Voluminet måles ved hjælp af rapsfrø-fortrængningsmetoden.



*Helbrød*



*Baguettes*

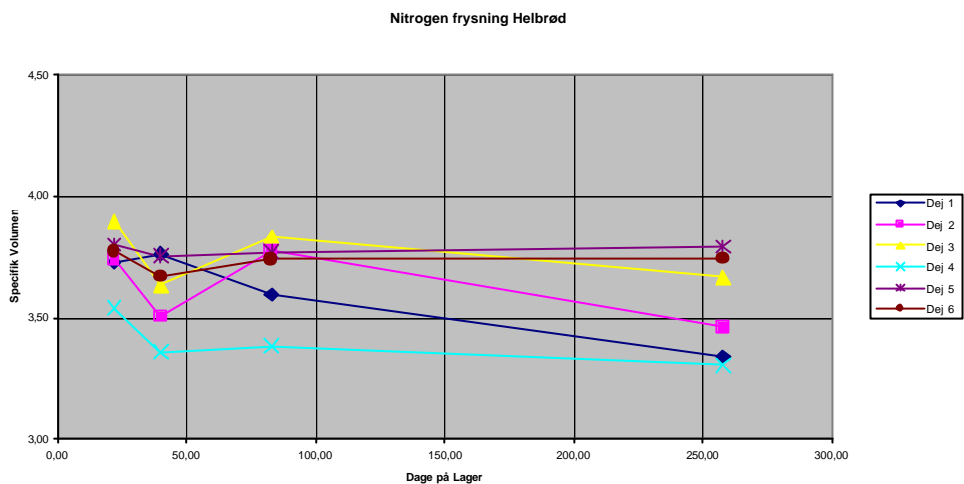
De samlede målinger ses i bilag 6.

## 11 Evaluering af forsøg

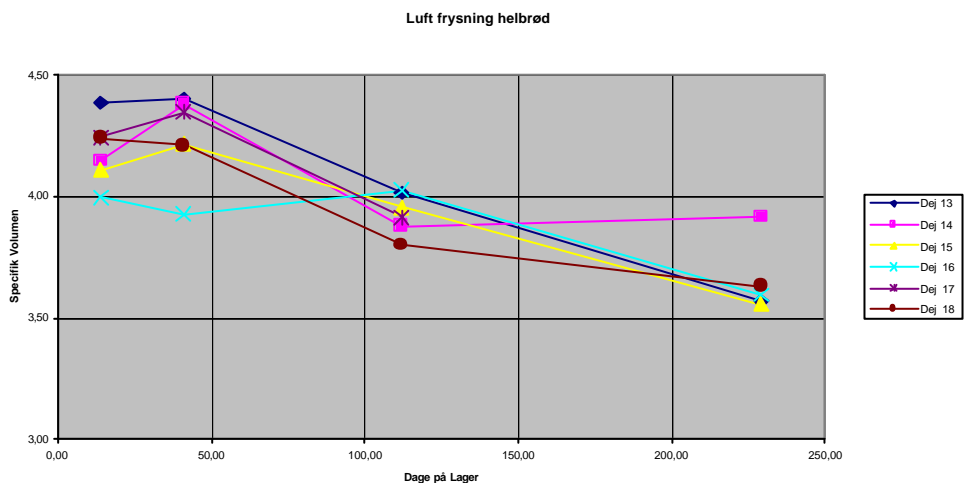
### 11.1 Specifik volumenmålinger og totalscore vurderinger

#### 11.1.1 Specifik volumen afhængig af dage på frostlager ved $-22^{\circ}\text{C}$

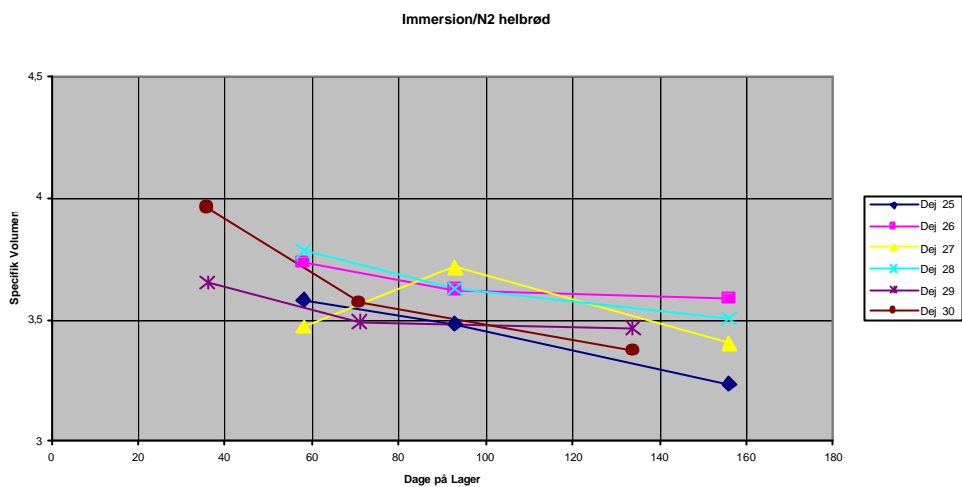
##### Helbrød



Figur 15: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, nitrogenfrysning, helbrød.



Figur 16: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, luftfrysning, helbrød.

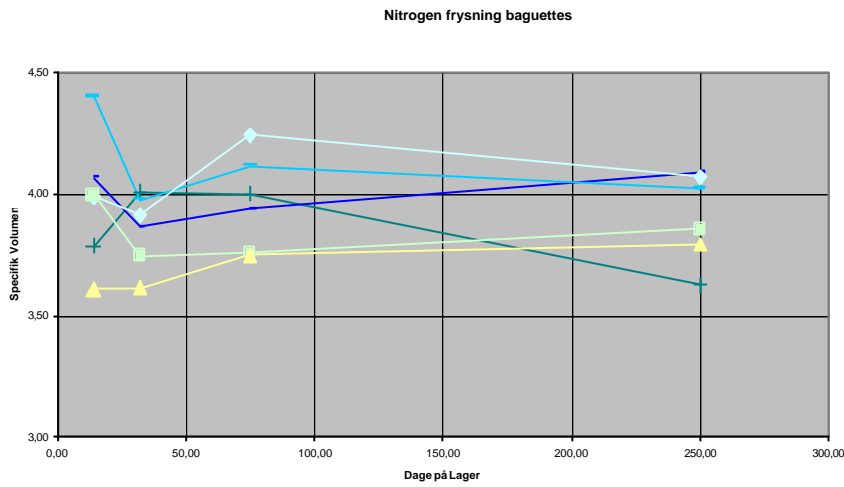


Figur 17: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, immersionsfrysning, helbrød.

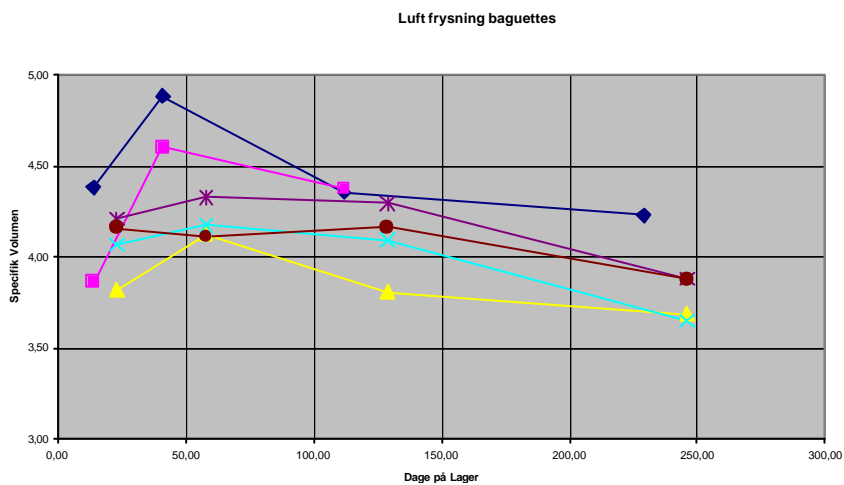
Sammenlignes figur 15 og 16 ses, at det specifikke volumen er størst for luftfrysning ved korte frostlagringstider. Det specifikke volumen falder dog gradvist for luftfrysning som funktion af lagringstiden, og havner på ca. samme niveau som for nitrogenfrysning. Nitrogenfrysning holder sig nærmest konstant over hele frostlagringsperioden. Det specifikke volumen for immersionsfrysning er vist i figur 17. Figuren viser samme tendens som figur 16, dog med et lavere specifikt volumen.

Nitrogenfrysning giver antageligt mindre iskrystalstørrelser end luft og dermed også en mindre beskadigelse af glutennetværket, der holder på  $\text{CO}_2$  under raskningen. Under fryselagringen forventes en vis rekrystallisation og dermed krystalvækst, der ødelægger glutennetværket. Da der ikke iagttages nogen ændring af det specifikke volumen for nitrogenfrysning, må det være et udtryk for, at iskrystallerne ikke er vokset til en størrelse, hvor de ødelægger glutennetværket. Derimod har iskrystalstørrelsen for luft og immersion betydning på det specifikke volumen ved længere tids fryselagring, idet det specifikke volumen falder.

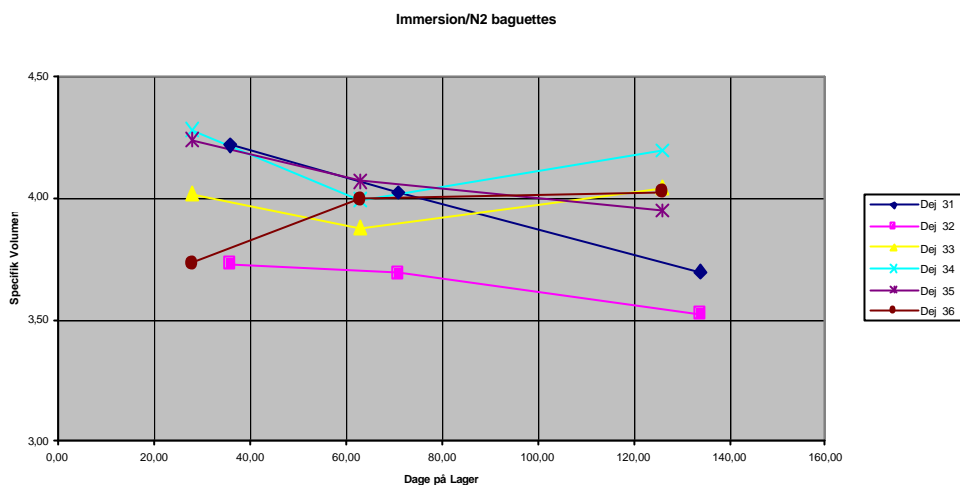
## Baguettes



Figur 18: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, nitrogenfrysning, baguette.



Figur 19: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, luftfrysning, baguette.



Figur 20: Det specifikke volumens afhængighed af antal dage på frostlager, immersionsfrysning, baguette.

Sammenlignes figur 18 og 19 ses, at det specifikke volumen er størst for luftfrysning ved korte frostlagringstider. Det specifikke volumen falder dog gradvist for luftfrysning som funktion af lagringstiden, for at havne på ca. samme niveau som for nitrogenfrysning. Nitrogenfrysning holder sig nærmest konstant over hele frostlagringsperioden. Det specifikke volumen for immersionsfrysning er vist i figur 20. Figuren viser samme tendens som figur 18, dog med et lavere specifikt volumen. Forløbet for baguettes er identisk med forløbet for helbrød, hvilket understøtter målingens pålidelighed.

### 11.1.2 Specifik volumen afhængig af rasketid

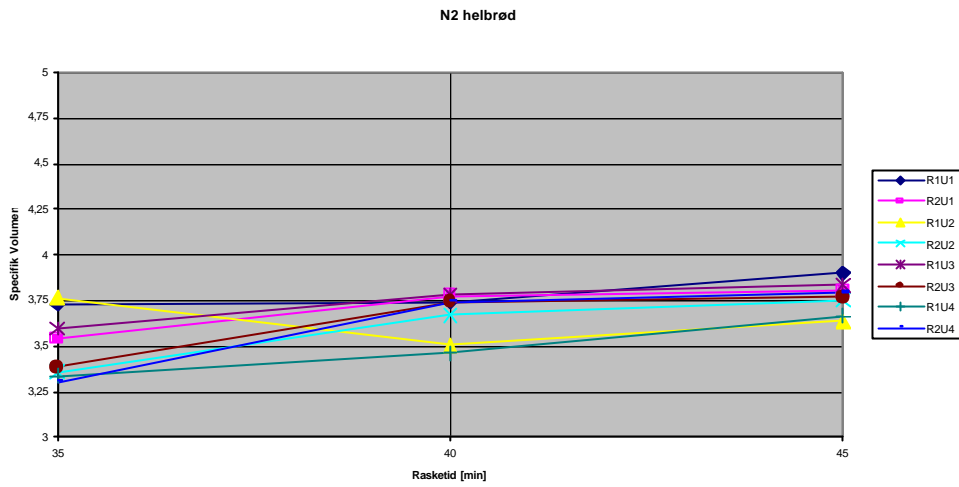
Er brødet rasket for lidt, vil man se og opleve betydelige forringelser i brødkvaliteten, blandt andet revner i skorpen under bagning, en tæt og tung krumme m.m. Er brødet derimod rasket for længe, oplever man typisk, at faconen begynder at blive mere udfladende, og at strukturen i krummen bliver mere åben og uens. Derfor blev der udført forsøg med tre forskellige rasketider for henholdsvis baguettes på 30-35-40 minutter og helbrød på 35-40-45 minutter.

Figur 21 til figur 26 viser det specifikke volumen for de forskellige rasketider og de tre indfrysningprocesser.

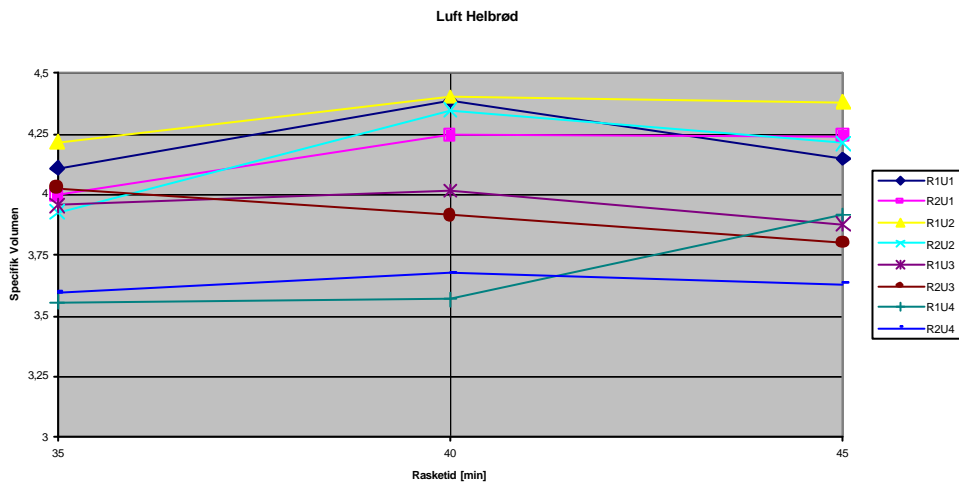
Anvendt nomenklatur i figur 21 til figur 26:

Eksempel: R1U1 = Recept 1 udbagning 1  
R2U3 = Recept 2 udbagning 3

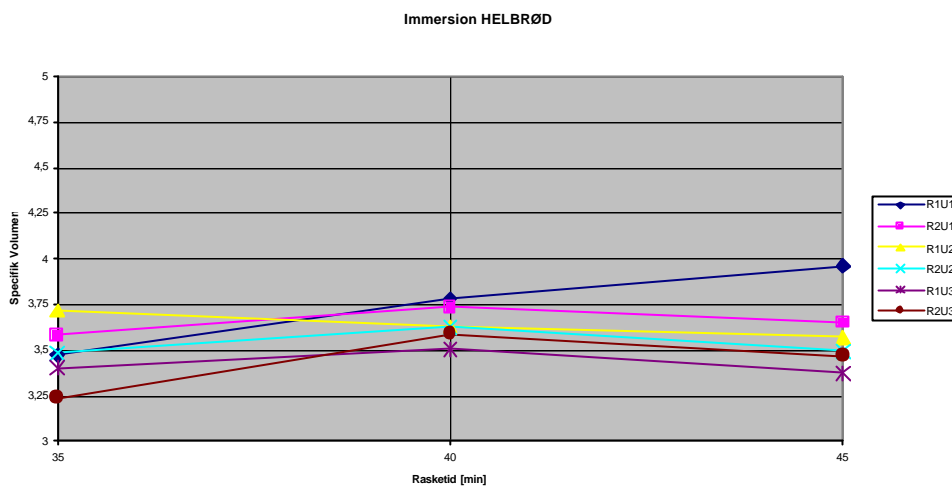
# Helbrød



Figur 21: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, nitrogenfrysning, helbrød.



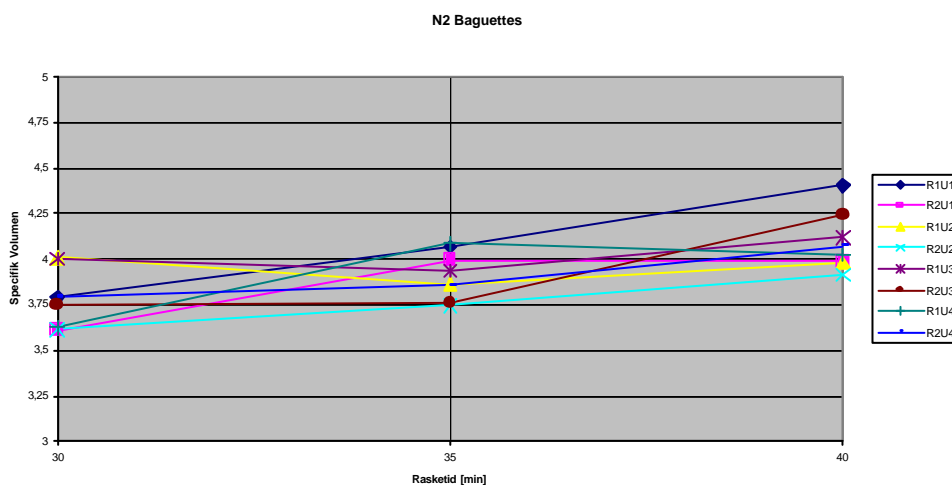
Figur 22: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, luftfrysning, helbrød.



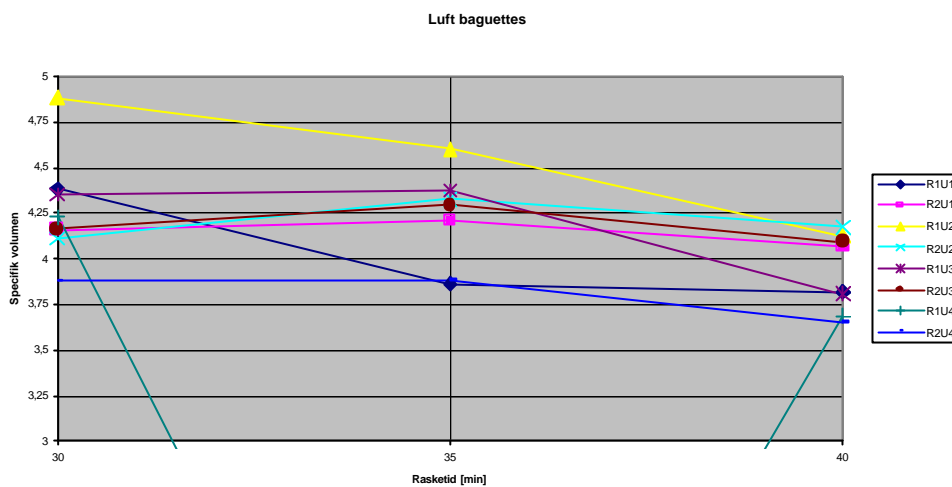
Figur 23: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, immersionsfrysning, helbrød.

Betragtes figur 21 og figur 22 for henholdsvis nitrogenfrysning og luftfrysning, fremgår det, at det specifikke volumen for nitrogen er mere uafhængig af rasketiden end luftfrysning. Spredningen er mindre for nitrogenfrysning end luftfrysning. For luftfrysning vil den optimale rasketid være 40 minutter, da der anes et toppunkt ved 40 minutters rasketid. For nitrogenfrysning er forløbet mere fladt. For immersionsfrysning (figur 23) ses ligeledes et toppunkt ved 40 minutters rasketid samt en mindre spredning i det specifikke volumen end luftfrysning. Grunden til den mindre spredning i det specifikke volumen for nitrogenfrysning og immersionsfrysning, kan antageligt igen forklares med de mindre iskrystaller, der dannes ved en hurtig indfrysning. Krystallerne når ikke at vokse til en størrelse under frostlagringen, så de ødelægger glutenetværket.

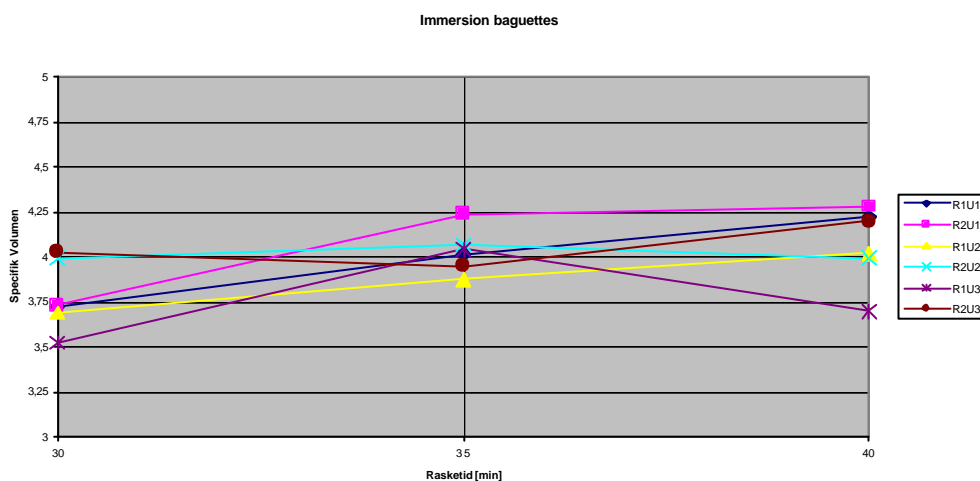
## Baguette



Figur 24: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, nitrogenfrysning, baguette.



Figur 25: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, luftfrysning, baguette.



Figur 26: Det specifikke volumens afhængighed af rasketid, immersionsfrysning, baguette.

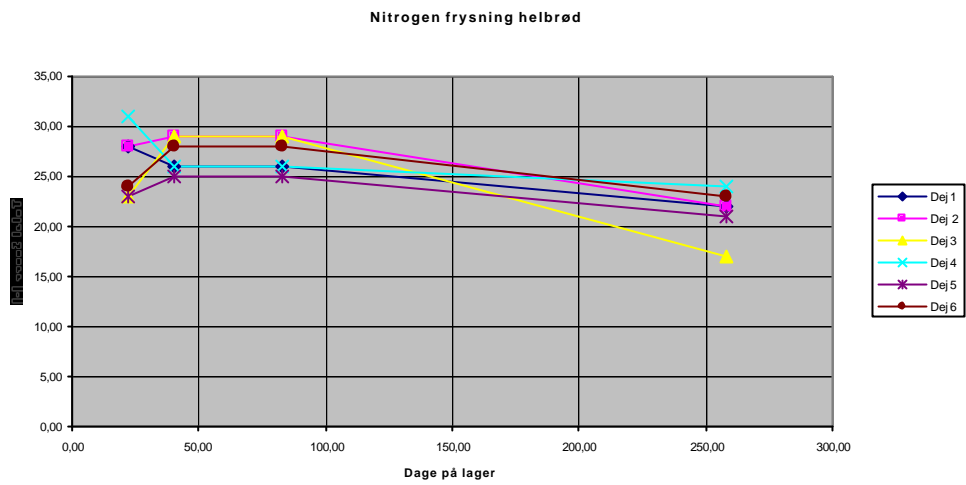
Figur 24 viser, at det specifikke volumen når sin maksimale værdi ved en rasketid på 40 minutter for nitrogenfrysning. Spredningen er igen mindre end for luftfrysning (figur 25). Luftfrysning viser en optimal rasketid på 35 minutter dog med en stor spredning. Immersionsfrysning (figur 26) viser et konstant specifikt volumen ved de tre forskellige rasketider.

### 11.1.3 Totalscore afhængig af dage på frostlager ved $-22^{\circ}\text{C}$

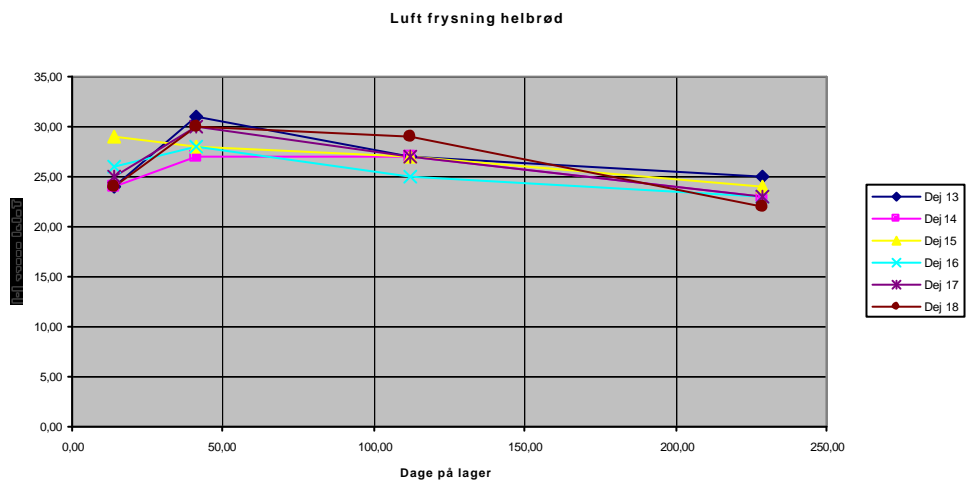
Figur 27 til figur 32 viser totalscorens afhængighed af antal dage på frostlager ved  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Totalscoren er summen af karakteren for henholdsvis sprødhed, snit, ausbund samt krumme. Karakteren er givet på en skala fra 1-10, hvor 10 er det bedste. Det vil sige, at den maksimale karakter er 40. Brødet er bedømt efter bagningen.

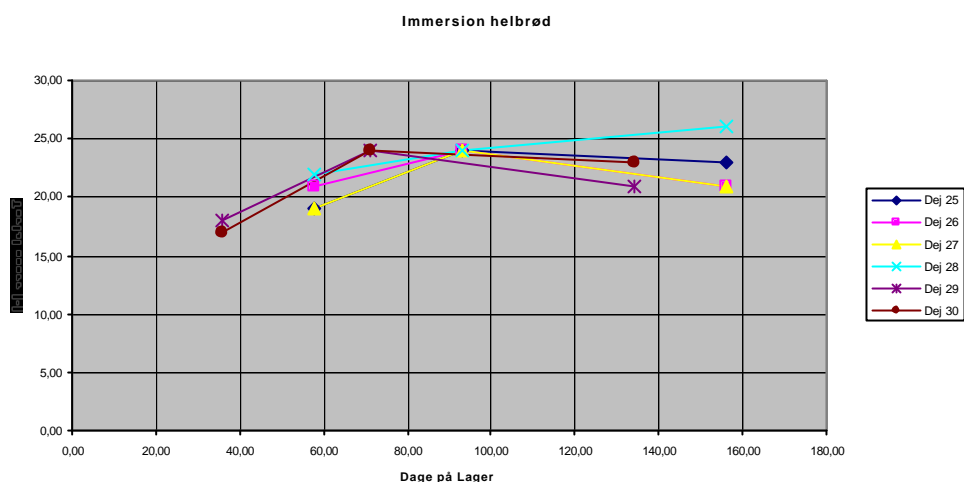
## Helbrød



Figur 27: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, nitrogenfrysning, helbrød.



Figur 28: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, luftfrysning, helbrød.

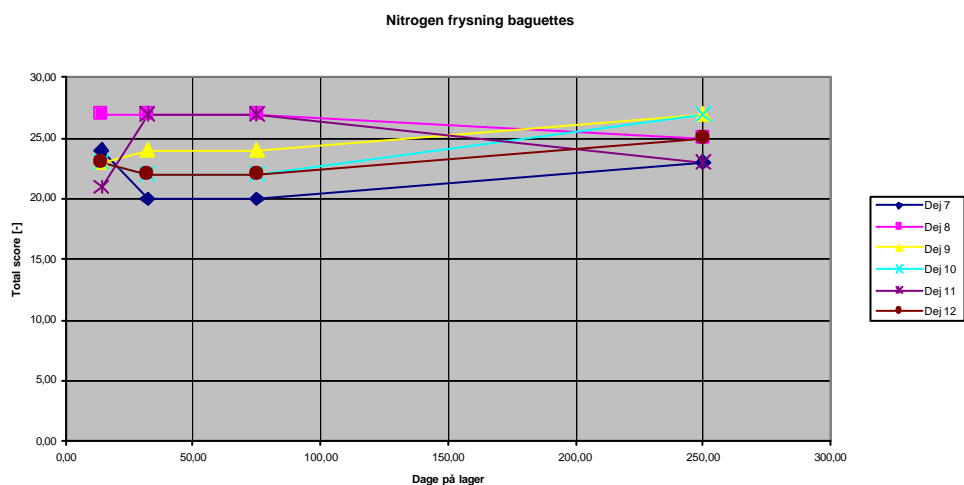


Figur 29: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, immersionsfrysning, helbrød.

Figur 27 og 28 viser samme forløb - nemlig at totalscoren er størst efter kort frostlagringstid, og at den falder med antal dage på lager. Totalscoren for nitrogen- og luftfrysning er nogenlunde ens.

Immersionsfrysning viser et modsat forløb, figur 29. Totalscoren stiger med antal dage på lager. Grunden til dette forløb skal nok forklares med frysemetoden samt opbevaringen under frostlager. Efter immersionsfrysningen i ethanol, dryppede dejene af så godt som muligt. Det kunne dog ikke undgås, at dejene blev pakket i plastposer med noget ethanol på overfladen, hvorfor de virkede lidt fugtige. Under frostlagringsperioden vil den ethanol, der sad på overfladen, fordampe. Dette kan have den modsatte effekt på totalscoren, idet dejene er blevet mere tørre, og dermed har det færdigbagte brød en bedre kvalitet.

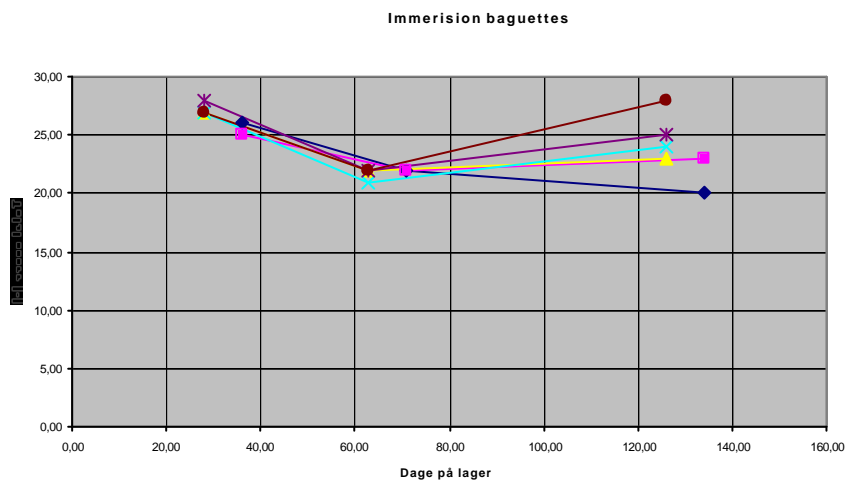
## Baguette



Figur 30: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, nitrogenfrysning, baguette.



Figur 31: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, luftfrysning, baguette.



Figur 32: Totalscore afhængighed af antal dage på frostlager, immersionsfrysning, baguette.

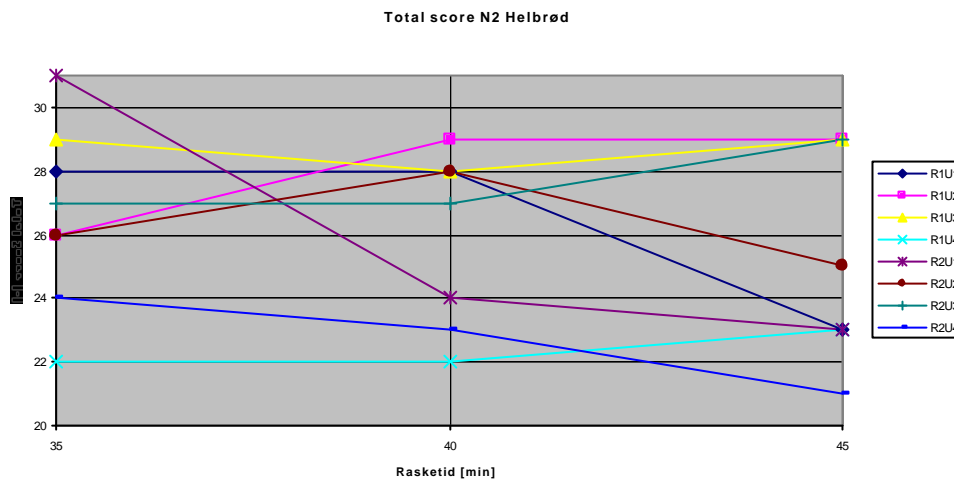
Figur 30 og figur 31 viser, at forløbene for totalscoren for nitrogenfrysningens og luftfrysningens afhængighed af antal dage på frostlager giver et mere konstant niveau end for helbrød. Det mere ensartede forløb kan forklares med størrelsen på baguette i forhold til helbrød. Det må forventes, at baguette har en mere ensartet krystalstørrelse gennem hele brødet, end det er tilfældet for helbrød. Se evt. figur 7. For immersionsfrysning, figur 32, ses samme forløb som i figur 29.

## 11.2 Totalscore afhængighed af rasketid

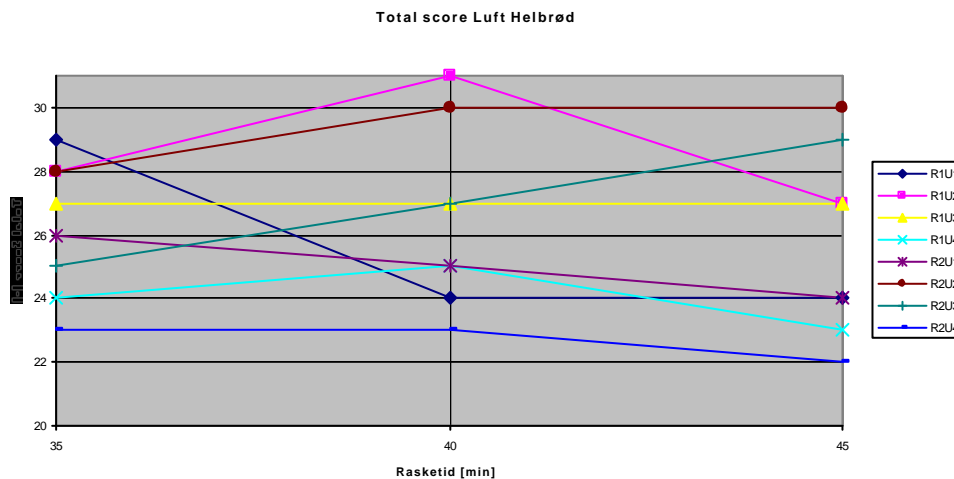
Anvendt nomenklatur i figur 33 til figur 38:

Eksempel: R1U1 = Recept 1 udbagning 1  
R2U3 = Recept 2 udbagning 3

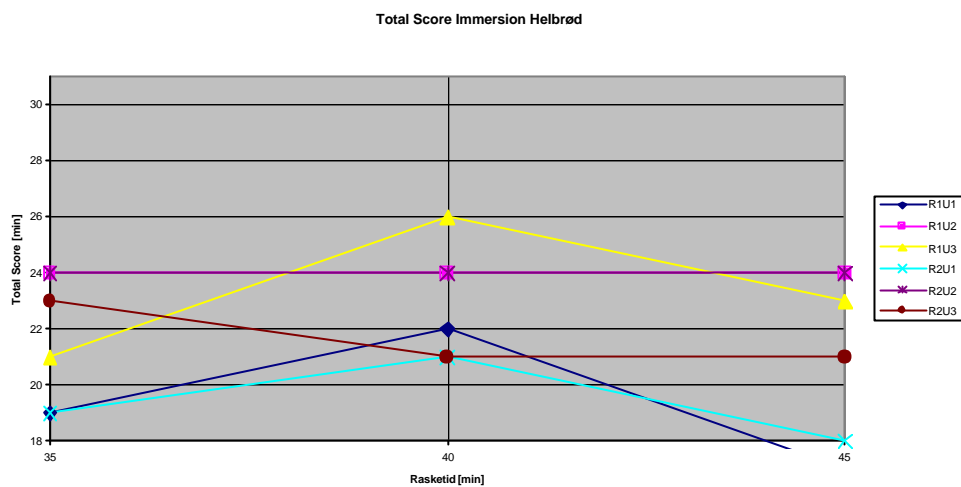
### Helbrød



Figur 33: Totalscore afhængighed af rasketid, nitrogenfrysning, helbrød.



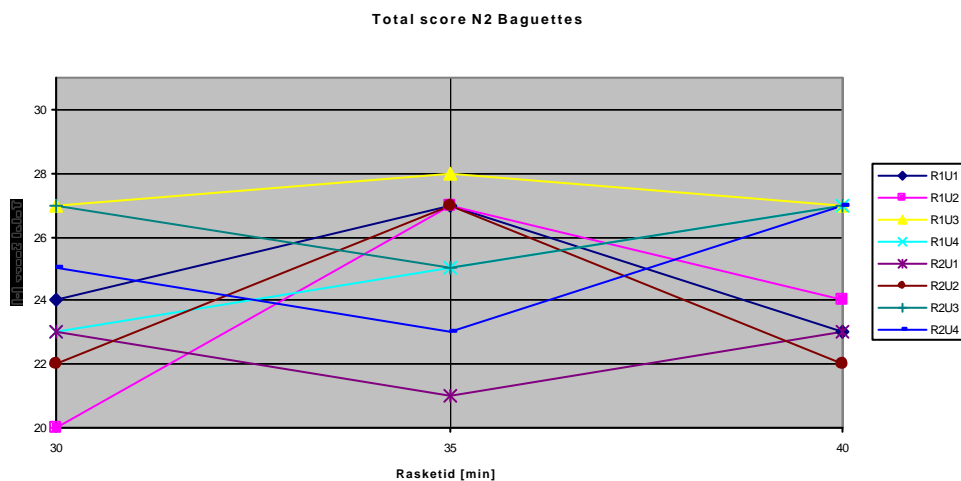
Figur 34: Totalscore afhængighed af rasketid, luftfrysning, helbrød.



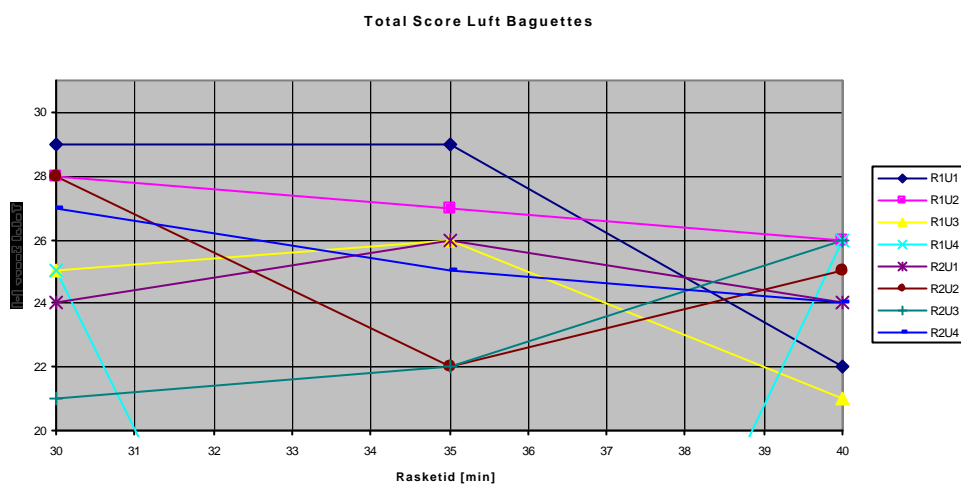
Figur 35: Totalscore afhængighed af rasketid, immersionfrysning, helbrød.

Figur 33 viser, at ved helbrødsdeje for nitrogenfrysning fremstillet efter recept 1, stiger totalscoren med stigende rasketid. Deje fremstillet efter recept 2, viser det modsatte forløb. Det tilsvarende kan ikke konkluderes af figur 34. Figur 35 viser en optimal rasketid på 40 minutter for immersionsfrysning.

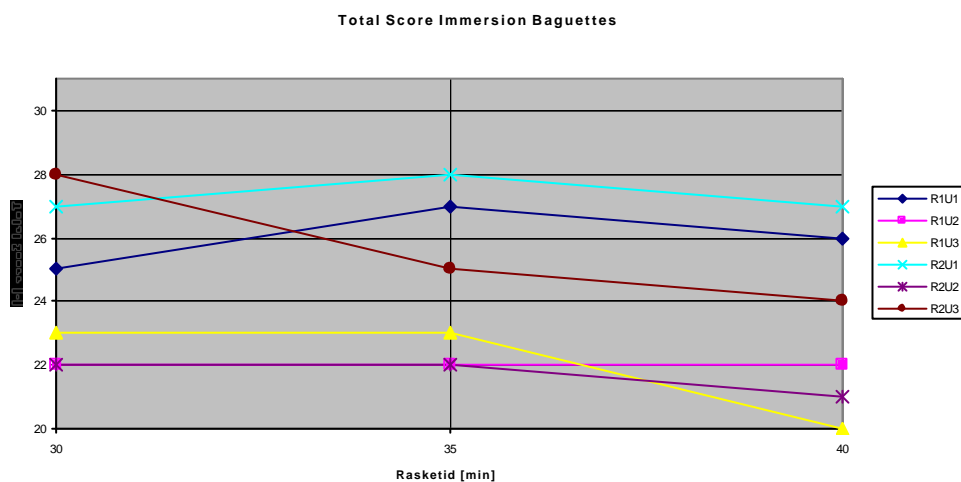
## Baguette



Figur 36: Totalscore afhængighed af rasketid, nitrogenfrysning, baguette.



Figur 37: Totalscore afhængighed af rasketid, luftfrysning, baguette.



Figur 38: Totalscore afhængighed af rasketid, immersionsfrysning, baguette.

Figur 36 viser et toppunkt for recept 1 for en rasketid på 35 min. for henholdsvis 1., 2. og 3. bagning. For luftfrysning (figur 37) opnås den højeste score ved en rasketid på 30 min. Immersionsfrysning (figur 38) er bedst ved en rasketid på mellem 30 og 35 minutter.

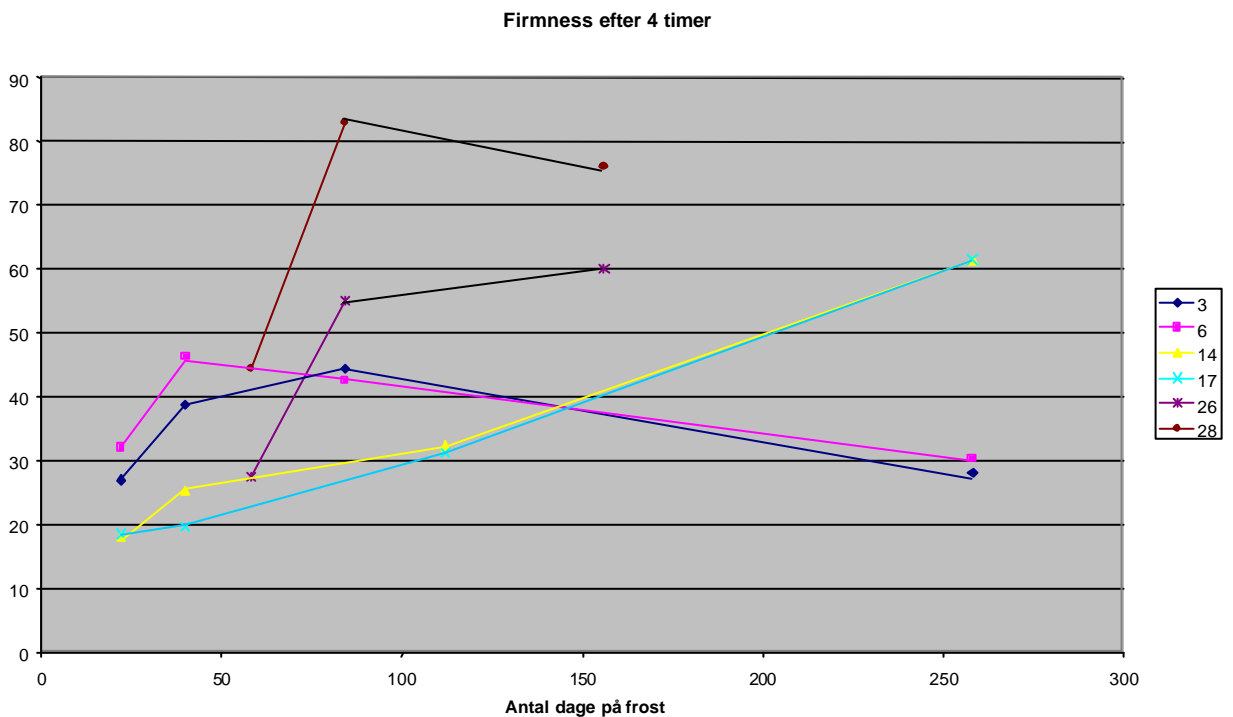
### 11.3 TPA-målinger

En væsentlig kvalitetsparameter for brød er, hvor lang tid det kan holde sig friskt og blødt. Dette kendetegner specielt brød, som har været frosset, da ændringer i vandbindingen øger brødets stalingshastighed (brødet bliver hårdt, da stivelsens rekrystallisering sker forholdsvis hurtigere end ved brød, som er fremstillet ved traditionelle processer uden frysning).

På denne baggrund er det interessant at følge stalingsforløbet, hvilket kan gøres ved TPA-målinger på en "Texture analyser", hvor bl.a. "firmness" og "resilience" registreres.

Igennem projektet er de bedste brød fra hver bagning udvalgt til analyse på TPA på baggrund af sensorisk vurdering og specifik volumen. For helbrød blev udvalgt følgende brød: 3 og 6 (nitrogenindfrysning), 14 og 17 (blæstindfrysning) og 26 og 28 (immersionsindfrysning). For baguette blev følgende brød udvalgt: 8 og 11 (nitrogenindfrysning), 19 og 24 (blæstindfrysning) og 34 og 35 (immersionindfrysning).

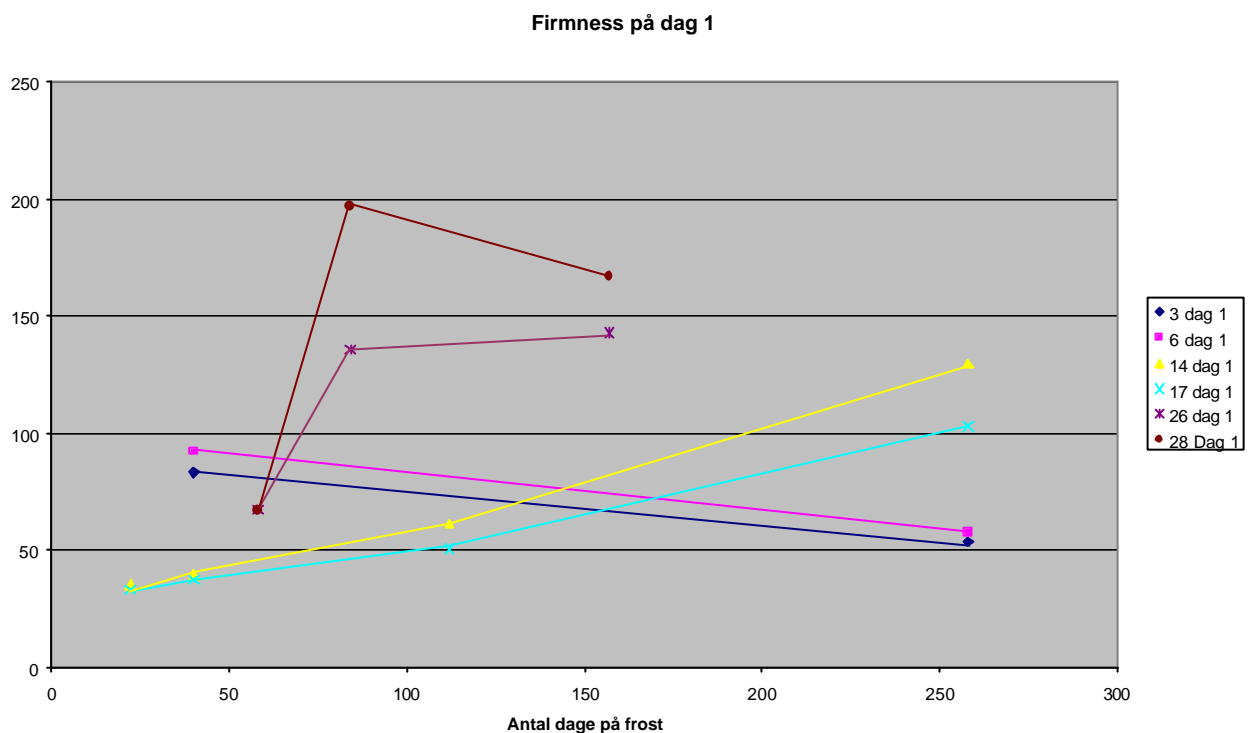
En lav "firmness-værdi" betyder, at det er et blødt brød, hvilket er positivt, og en høj "resilience-værdi" betyder, at der er god elasticitet i brødet, hvilket ligeledes er positivt.



Figur 39: Firmness af helbrød 4 timer efter udbagning.

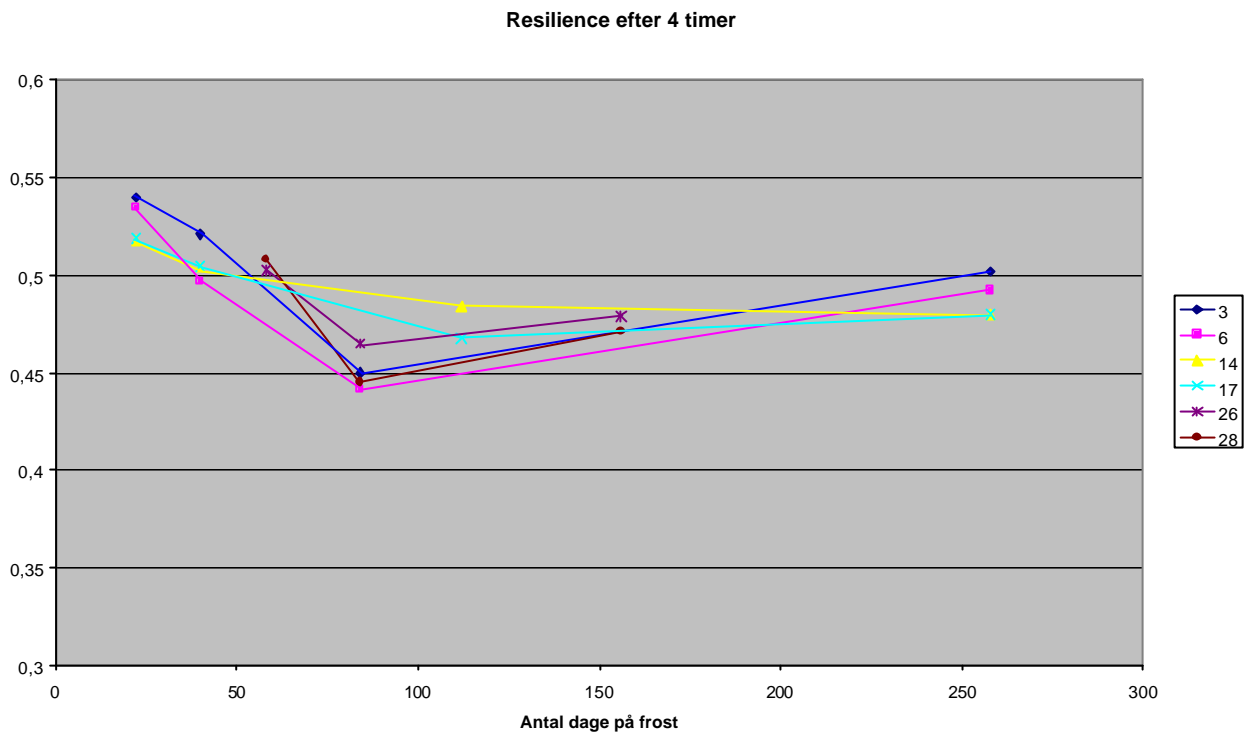
Fra figur 39 ses, at der er et uændret eller evt. generelt faldende forløb i firmness over fryselagringsperioden for brød indfrosset ved nitrogenindfrysning, mens der er et generelt stigende forløb for de øvrige to indfrysningemetoder. I den første del af fryselagringsperioden er brød indfrosset ved blæstfrysning dog lavere i firmness end både nitrogenindfrysning og immersionsindfrysning. Der ser således ud til at ske et skift over fryselagringsperioden med hensyn til, hvilke brød der er bedst på denne kvalitetsparameter.

Der ses kun mindre forskelle mellem brød med forskellige ingrediensløsninger.



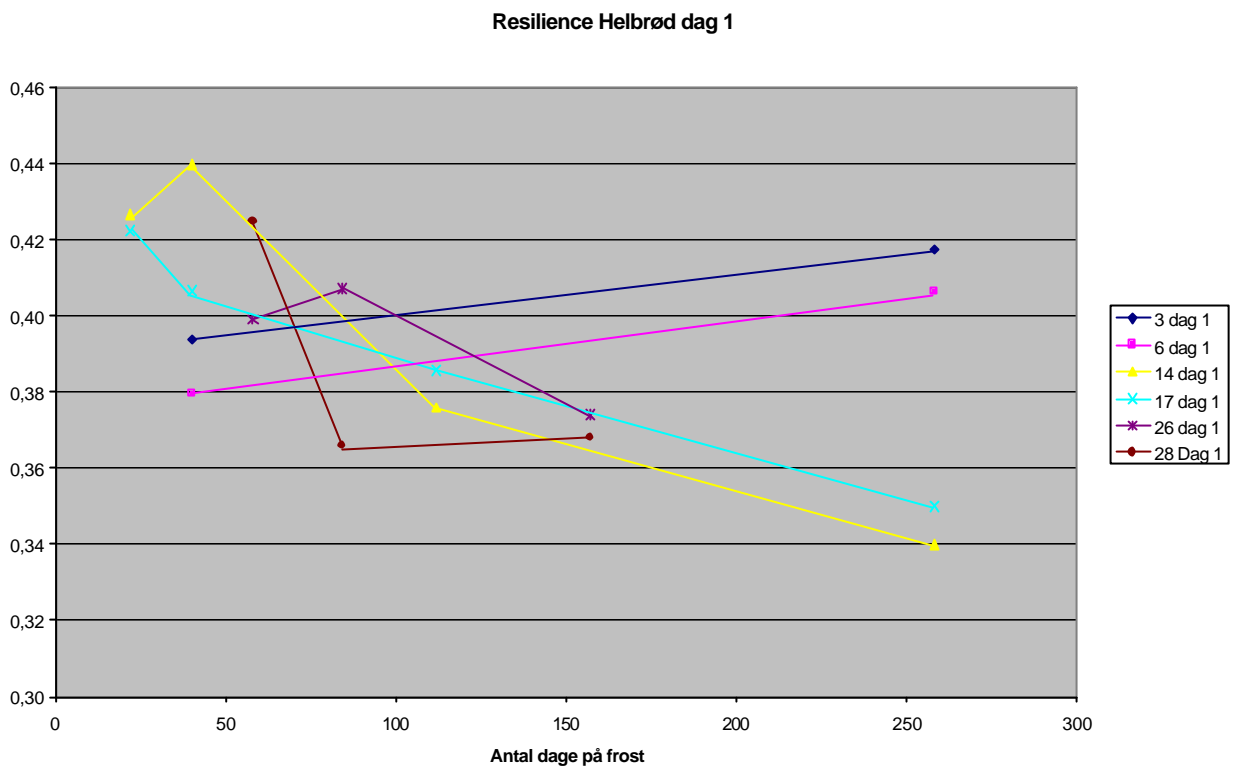
Figur 40: Firmness af helbrød efter 1 dag.

På figur 40 ses, at forløbet for firmness efter 1 dag er sammenligneligt med forløbet for firmness efter 4 timer, (figur 39) dog med en væsentlig højere firmness. Dette er som forventet og styrker dermed også sikkerheden i observationerne fra figur 39.



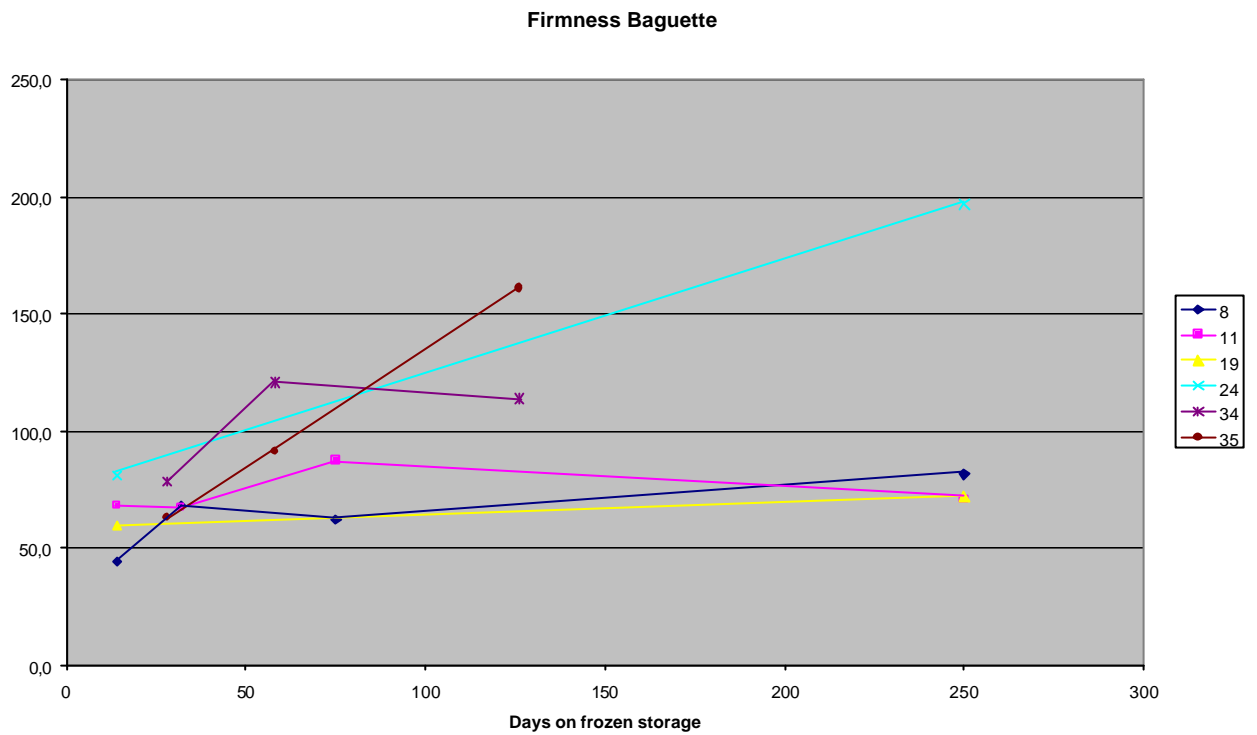
*Figur 41: Resilience af helbrød efter 4 timer.*

På figur 41 er vist resilience af helbrød 4 timer efter bagning. Der ses generelt ikke de store forskelle mellem brødene. I den første og den sidste del af fryselagringsperioden har de nitrogenindfrosne brød den bedste resilience, mens de blæstindfrosne brød har den bedste resilience i den miderste del af perioden.



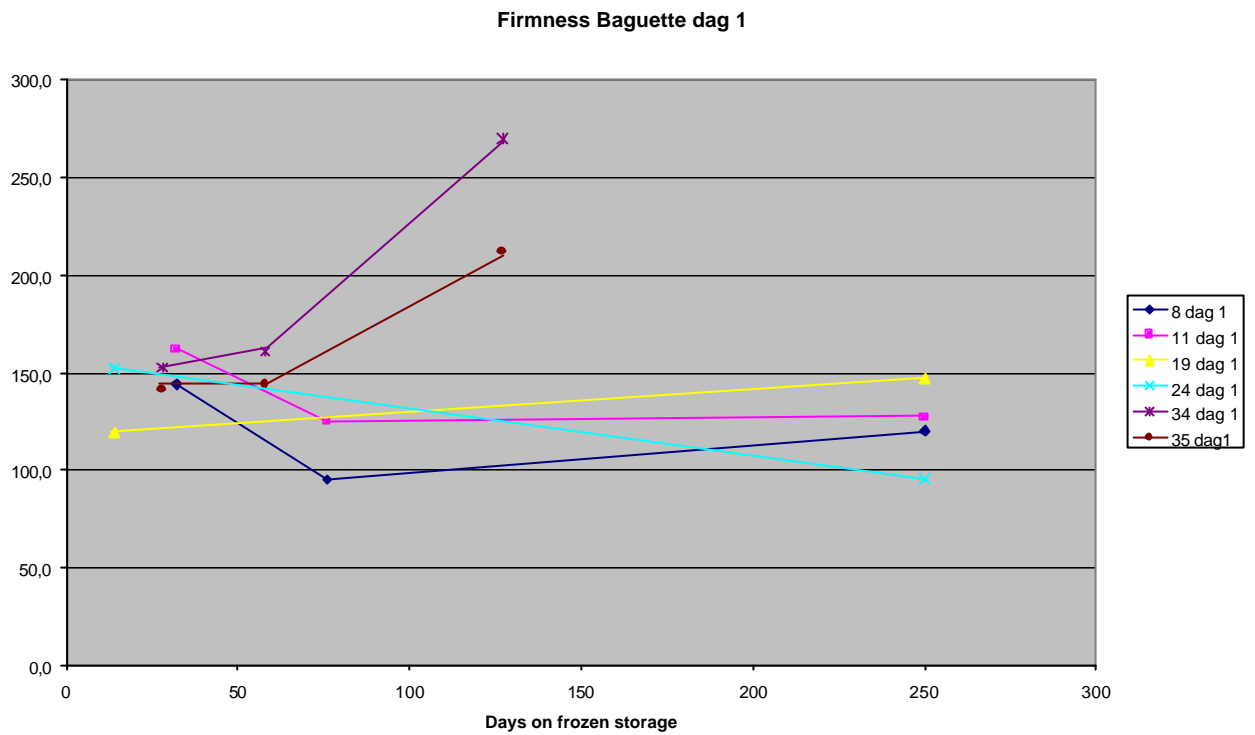
Figur 42: Resilience af helbrød 1 dag efter bagning.

På figur 42 ses, at mens de blæstindfrosne brød har den højeste resilience efter 1 dag i starten af fryselagringsperioden, er de nitrogenindfrosne brød klart bedre i den sidste del af fryselagringsperioden. Immersionsindfrosne brød har en faldende resilience over fryselagringsperioden, men adskiller sig ikke umiddelbart fra de øvrige brød.



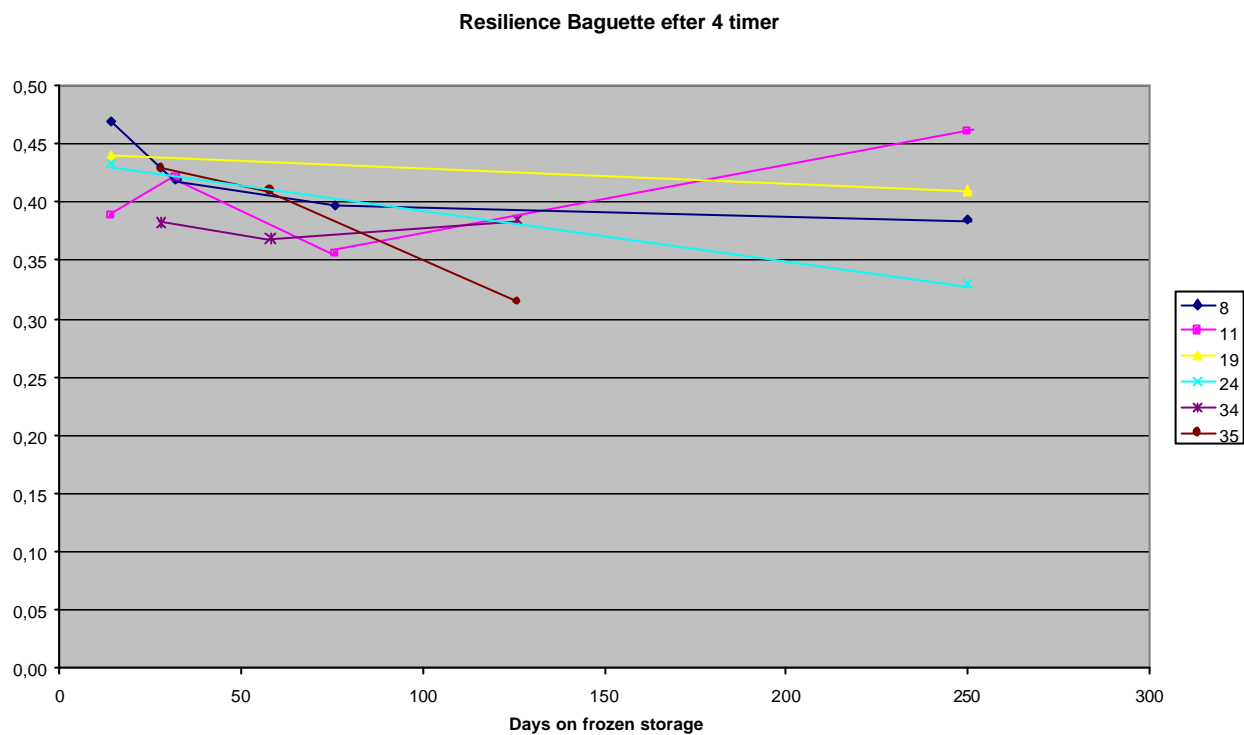
Figur 43: Firmness af baguette efter 4 timer.

På figur 43 ses, at alle baguette generelt har en stigende tendens i firmness gennem fryselageringsperioden. Det er ikke muligt at udpege hverken indfrysningmetode eller ingrediensløsning som værende af afgørende betydning.



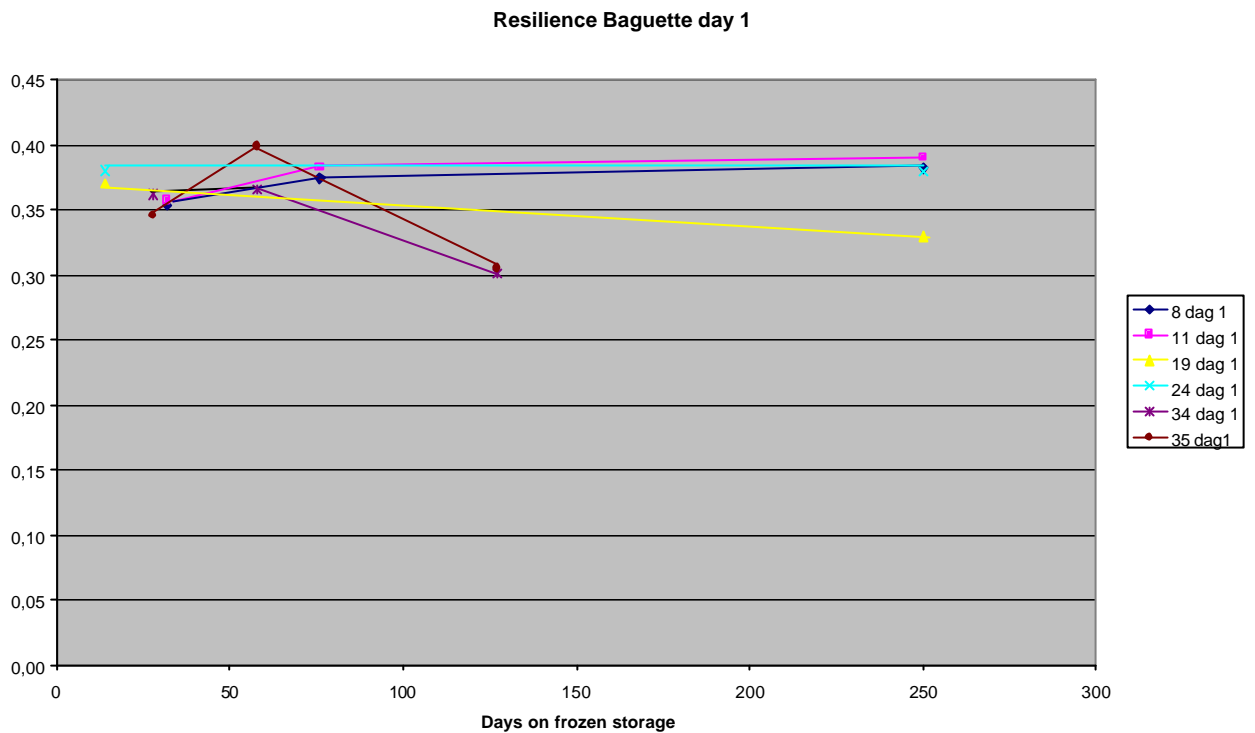
*Figur 44: Firmness af baguette efter 1 dag.*

Af figur 44 ses, at firmness af baguette efter 1 dag stort set er uændret gennem fryselagringsperioden for baguette indfrosset ved nitrogen eller blæst. Derimod ses en klar negativ udvikling for baguette indfrosset ved immersionsfrysning.



*Figur 45: Resilience af baguette efter 4 timer.*

På figur 45 ses, at der ikke er et entydigt billede i udviklingen af resilience i baguette efter 4 timer.



*Figur 46: Resilience af baguette efter 1 dag.*

Ligesom af figur 45 ses det af figur 46, at der ikke er en entydig udvikling i resilience af baguette gennem fryselagringsperioden.

#### 11.4 Konklusion TPA-analyser

Den generelle konklusion af TPA-analyserne er, at det ser ud til, at indfrysningemetoden kan have indflydelse på firmness og resilience af brødene. Generelt ser det ud som om, helbrød indfrosset ved blæstfrysning i starten af fryselagringsperioden har en lavere firmness og højere resilience end brød indfrosset ved nitrogen eller immersion. Efter længere tids fryselagring ser det ud som om, at brød indfrosset ved nitrogen har den laveste firmness og højeste resilience. Det er sandsynligt, at netop hastigheden af iskrystaldannelsen samt udtørringen under frysningen kan relateres til disse effekter. I baguette ses ikke et entydigt billede.

## 11.5 Multivariabel dataanalyse

Det færdigbagte brød er evalueret efter henholdsvis 14, 40, 110 og 250 dage på frostlager ved  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Følgende størrelser er evalueret på en skala fra 1-10, hvor 10 er det bedste.

- Krumme (K1-K4)
- Snit (SN1-SN4)
- Ausbund (A1-A4)
- Sprødhed (SP1-SP4)
- Totalscore (TS1-TS4) (Lig summen af scoren fra ovenstående)
- Specifikke volumen (SV1-SV4)

*Eksempler:*

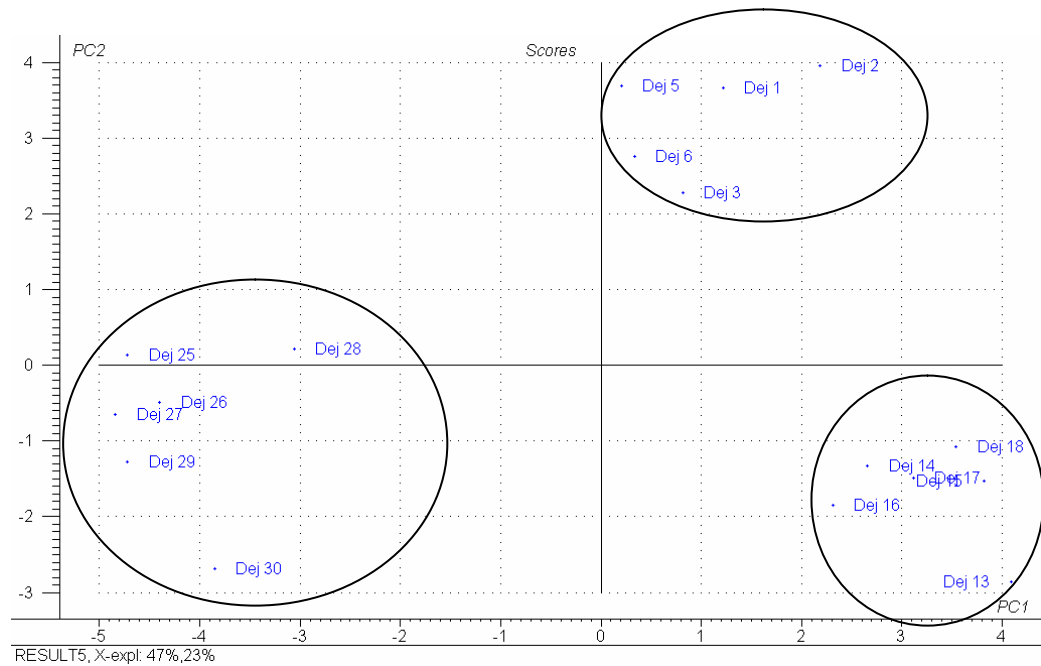
K1 (Krumme) ved første bagning	- det vil sige 14 dage på frostlager
SN2 (Snit) ved anden udbagning	- det vil sige efter 40 dage på frostlager
A3 (Ausbund) ved tredje udbagning	- det vil sige efter 110 dage på frostlager
SP4 (Sprødhed) ved fjerde udbagning	- det vil sige efter 250 dage på frostlager
SV3 (specifikke volumen) ved tredje udbagning	- 110 dage på frostlager

De sensoriske data er blevet analyseret med et multivariabel dataanalyse-program for at finde sammenhænge mellem fryseproces, ingredienser, rasketid og deres indflydelse på sensoriske data.

Der er anvendt Principal Component Analyse (PCA). Ud fra PCA fremkommer to plots : Scoreplot samt Loadingplot.

Variabler, der er placeret samme sted i Loadingplottet (samme hjørne eller kvadrant af plottet) vil have samme variation, og derfor vil de være korrelerede. Hvis variablerne er placeret modsat hinanden i plottet f.eks. 1. og 3. kvadrant vil de være negativt korrelerede. Scoreplottet viser prøvernes placering. Prøver, der er placeret samme sted i scoreplottet som variablerne i loadingplottet, vil være korrelerede. Er dej 1 f.eks. placeret samme sted i scoreplottet, som K1 i loadingplottet, så vil dej 1 være korreleret til Krumme 1. Altså: Dej 1 har en høj score på krummen efter første udbagning.

### 11.5.1 Helbrød



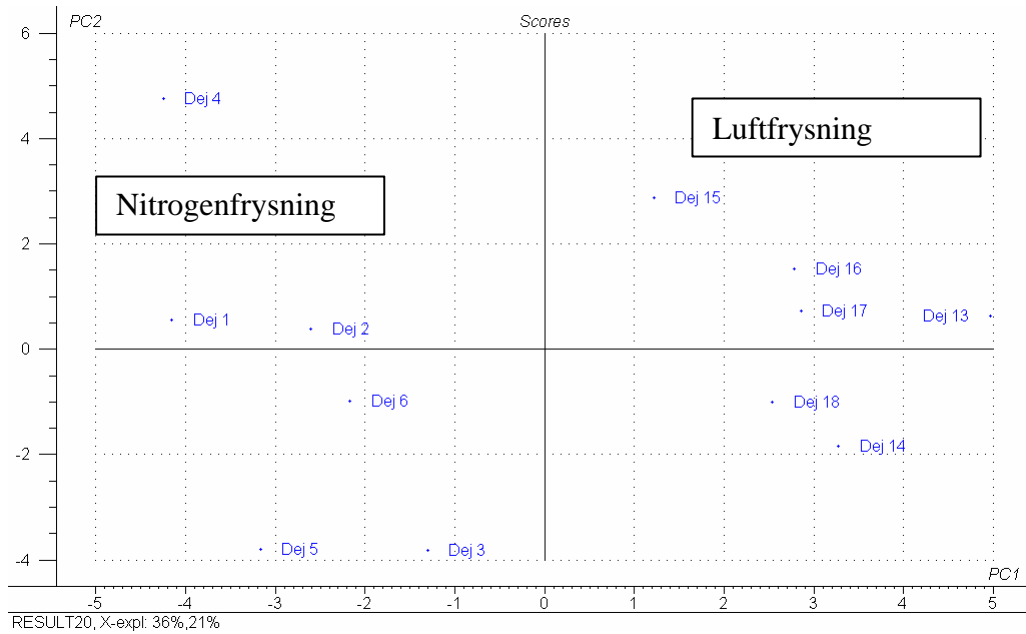
Figur 47: Scoreplot for samtlige deje, helbrød.

Det ses af figur 47, at dejene grupperer sig i 3 klumper svarende til de tre fryseprocesser. Dej 1-6 er nitrogenfrosne, dej 13-18 er luftfrosne og dej 25-30 er immersionsfrosne. Det kan derfor konkluderes, at de tre fryseprocesser giver forskellige brødtyper med hver deres egenskab. Forklaringsprocenten er på 70%. Første hovedkomponent PCA1 forklarer 47% af variationerne, og anden hovedkomponent forklarer 23% af variationerne.

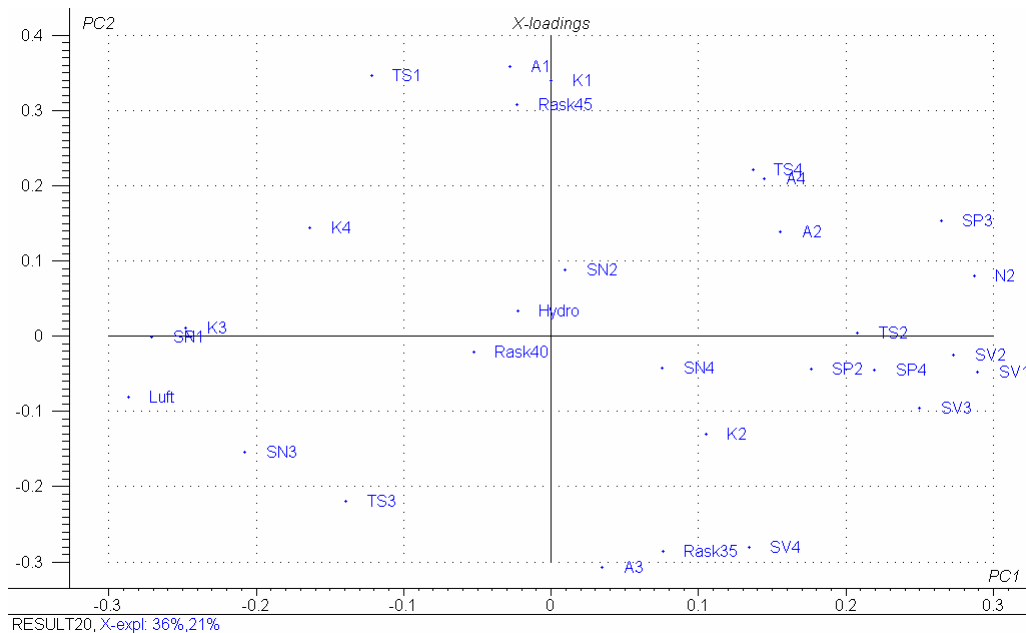


Figur 48: Loadingplot for samtlige deje, helbrød.

Figur 48 viser, at de fleste sensoriske data er korreleret til nitrogenfrysning og luftfrysning, samt at immersionsfrysning er negativt korreleret til de fleste sensoriske data.



Figur 49 : Scoreplot - helbrød uden immersionsfrysning.



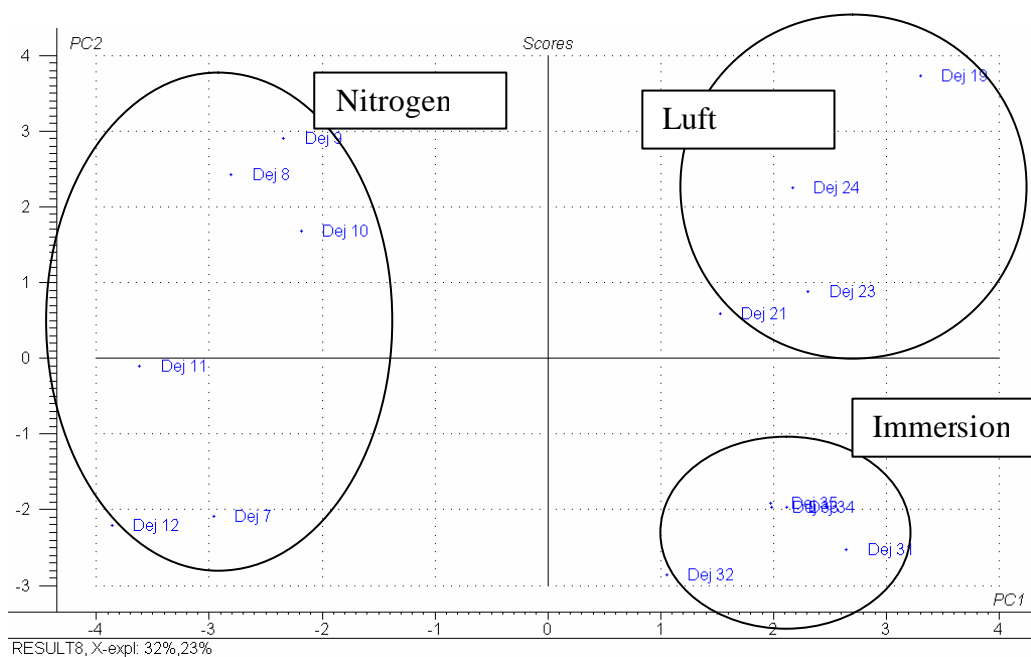
Figur 50: Loadingplot - helbrød uden immersionsfrysning.

Figur 49 og figur 50 viser scoreplot og loadingplot for helbrød, der er nitrogenfrosset og luftfrosset.

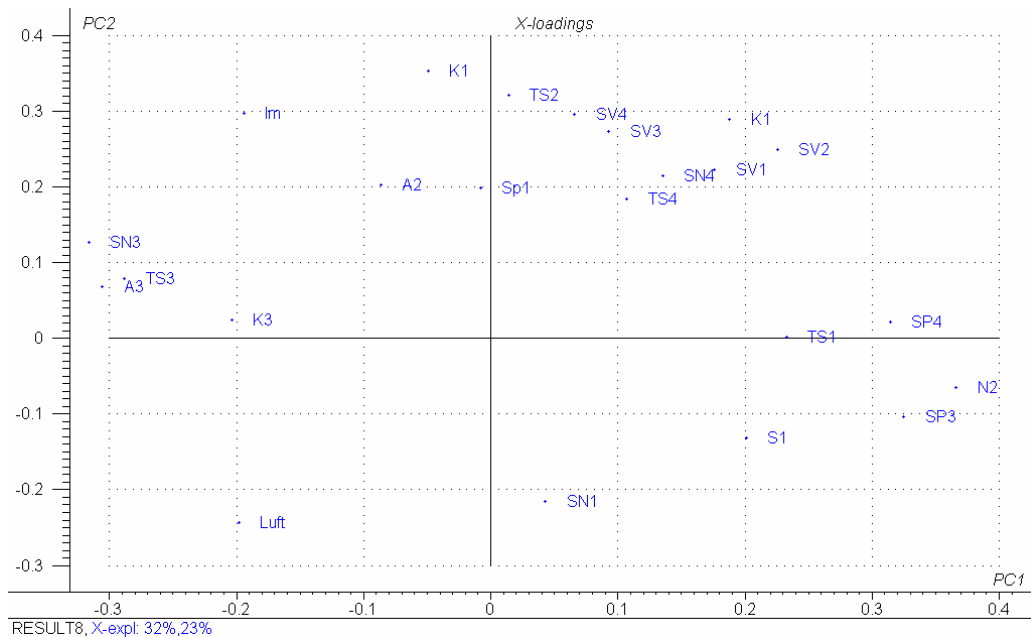
Figur 50 viser det tilhørende loadingplot til scoreplottet figur 49. Det ses, at en rasketid på 40 minutter ikke har nogen indflydelse, da punktet ligger i 0,0. Hydro (Recept 1 med hydrocolloido) ligger ligeledes i 0,0, hvilket betyder, at den heller ikke har den store indflydelse.

En rasketid på 45 minutter har indflydelse på ausbund og krummen efter første udbagningen. Desuden iagttages det, at luftfrysning har størst indflydelse på det specifikke volumen ved 1. – 3. udbagning. Nitrogenfrysning har indflydelse på krumme og snit ved 3. udbagning.

### 11.5.2 Baguettes

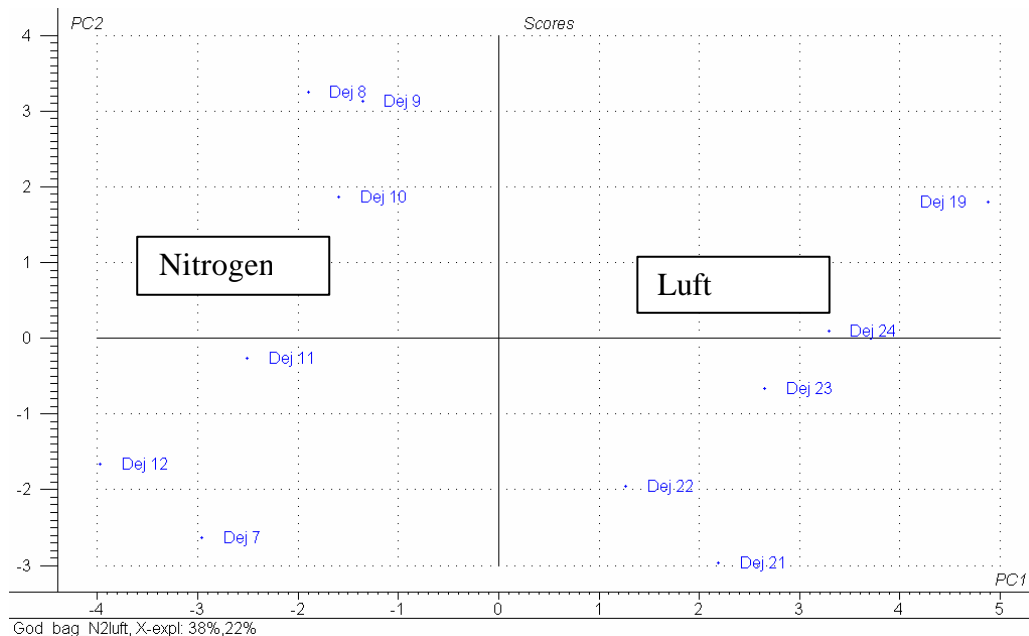


Figur 51: Scoreplot for Baguettes, samtlige fryseprocesser.

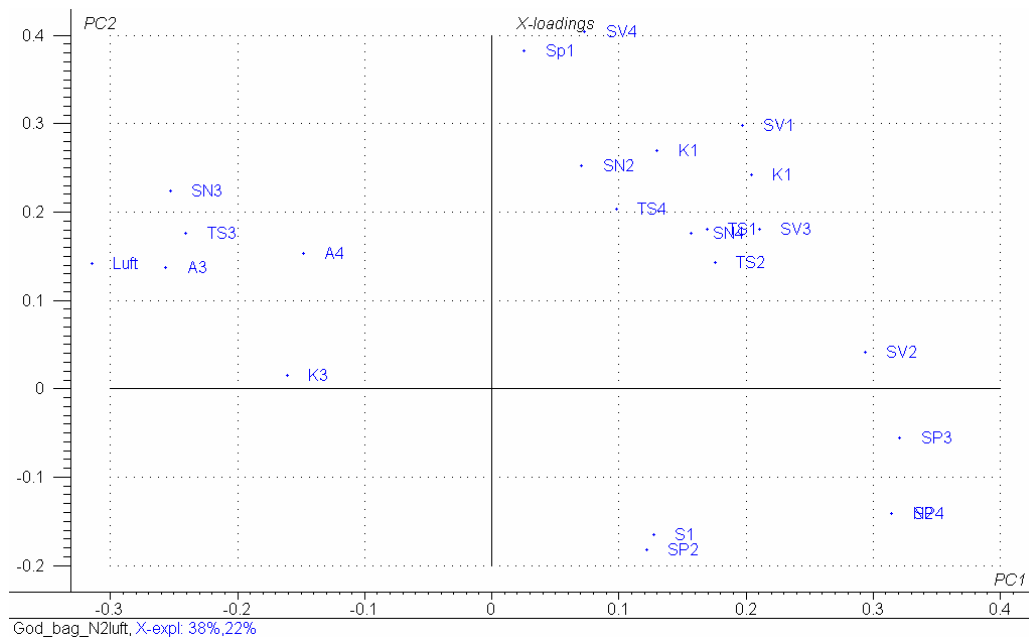


Figur 52: Loadingplot for Baguettes, samtlige fryseprocesser.

Figur 51 viser samme tendens som figur 47, nemlig at dejene grupperer sig efter fryseprocessen. Deje, frosset med nitrogen, grupperer sig primært i 3. og 4. kvadrant, mens luftfrosne deje grupperer sig i 2. kvadrant. Immersionsfrosne deje ligger i 4. kvadrant. Fryseprocessen adskiller igen dejene. Forklaringsprocenten er på 55%.



Figur 53: Scoreplot for Baguettes, uden immersionsfrysning.



Figur 54: Loadingplot for Baguettes, uden immersionsfrysning.

Dejen grupperer sig igen efter fryseprocessen (figur 53). Luftfrysprocessen hænger mest sammen med de sensoriske data efter første udbagning, mens nitrogenfryseprocessen korrelerer med de sensoriske data efter 3. udbagning.

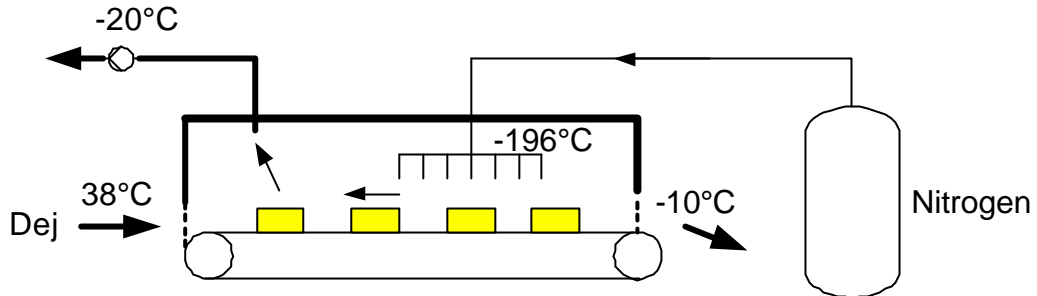
## 12 Økonomisk sammenligning mellem frysemetoder

Sammenligner man varmeovergangstallet fra luft til dej med immersionsfrysning, hvor dejen nedsænkes i ethanol, fås en faktor 10 i forskel. Typiske varmeovergangstal for luftfrysning er i størrelsesordenen 25-50 W/m<sup>2</sup>K, mens størrelsesordenen for ethanol er 250-500 W/m<sup>2</sup>K. Dette betyder, at man kan hæve fordampningstemperaturen på køleanlægget, hvis man immerionsfryser dejen. Tabel 3 viser, at man kan spare 44% i energiforbrug ved at hæve fordampningstemperaturen fra -40°C til -24°C ved at skifte fra luftfrysning til immersionsfrysning ved samme frysetid. Anvendes samme medietemperatur på -32°C vil frysetiden halveres, og kompressoreffekten vil reduceres med 25%.

Kølemedie	Fordamper-temperatur	Medie-temperatur	COSP	Energiforbrug relativ til luft	Frysetid relativ til luft
Luft	-40°C	-32°C	1,25 <sup>(1)</sup>	1,0	1,0
Ethanol	-36°C	-32°C	1,68 <sup>(2)</sup>	0,74	0,5
Ethanol	-24°C	-20°C	2,22 <sup>(2)</sup>	0,56	0,9-1,1

- (1) Forudsat: Afrimning udgør 10% af kuldeydelsen  
Ventilatorers effektforbrug udgør 10% af kuldeydelsen
- (2) Forudsat: Pumpning af ethanol er estimeret til 5% af kuldeydelsen

Tabel 3

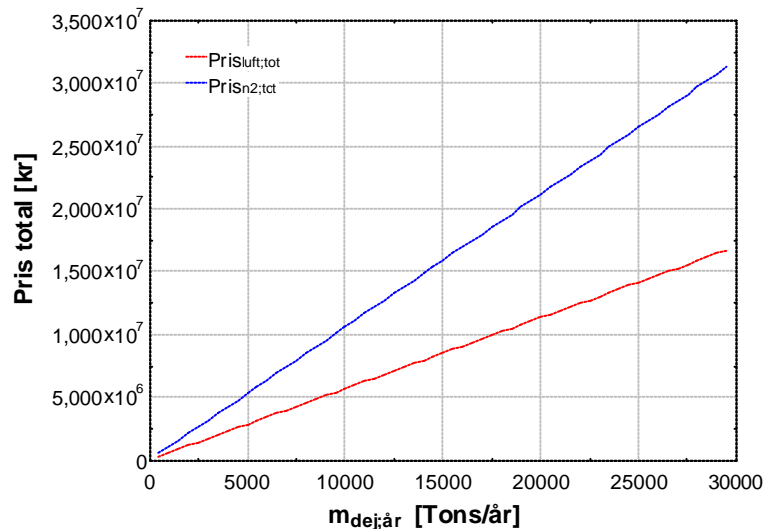


Figur 55: Temperaturer for N<sub>2</sub>-frysning.

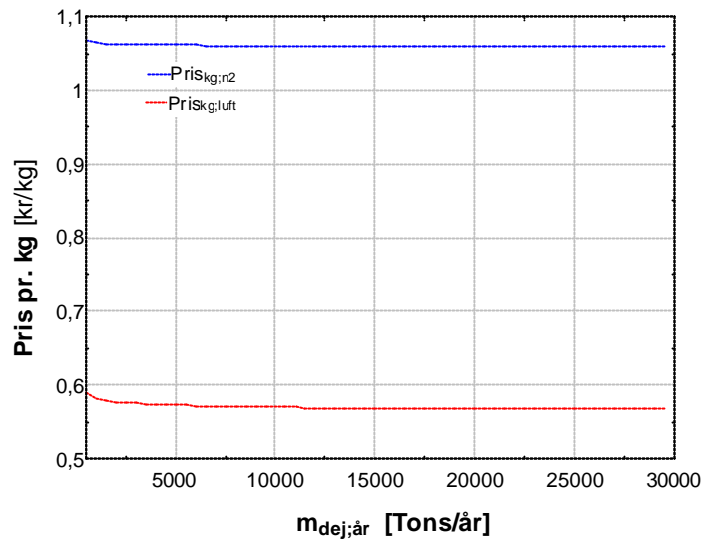
Figur 55 viser indgangs- og udgangstemperaturerne for henholdsvis dej og nitrogen for nitrogenfrysning. Med temperaturerne kan nitrogenforbruget pr. kg dej beregnes til 0,93 kg N<sub>2</sub>/kg dej. Nitrogenprisen er 1 kr./kg. Der regnes med en frysestab på 0,7% for nitrogen.

For luftfrysning regnes med en fordampningstemperatur på  $-40^{\circ}\text{C}$  og med et frysetab på 3,5%. Salgsprisen for helbrød er ca. 15 kr./kg.

Med ovenstående oplysninger er det muligt at lave følgende figurer, der viser omkostningerne ved produktion af helbrød. Der er medtaget en prisfunktion for luftfryseanlægget samt for nitrogenfryseanlæg, der giver en prisreduktion på en faktor 2,5. Afskrivningstid for investering er 3 år med en rente på 8%.



Figur 56: Sammenligning af totale omkostninger for nitrogen- og luftfrysning.



Figur 57: Omkostning pr. kg dej for nitrogen og luftfrysning.

Figur 56 og figur 57 viser en sammenligning mellem luft- og nitrogenfrysning. Man ser, at nitrogenfrysning er dyrere end luftfrysning. Havde kiloprisen på dejen været højere, ville nitrogenfrysning være mere konkurrencedygtig, og man ville have haft en break even ved en produktionsmængde på ca. 3000 tons/år. Konklusionen er, at luftfrysning er mest rentabel ved store produktionsmængder, mens nitrogenfrysning er mest rentabel ved lave produktionsmængder med høj kilopris.

## 13 Konklusion og rekommandationer

Gennem dette projekt er det blevet undersøgt, hvordan hævetid, funktionelle ingredienser samt forskellige indfrysningsprocesser har indflydelse på brødkvaliteten fremstillet af forhævede frosne dej.

I projekter er der anvendt tre forskellige fryseteknikker til indfrysningen af den forhævede gærdej. De tre fryseteknikker repræsenterer forskellige indfrysningshastigheder, hvilket har indflydelse på iskrystalstørrelsen dannet i dejen.

Fryseprocessen har været den dominerende faktor for brødkvaliteten, og det har derfor heller ikke været muligt at se forskel på de forskellige ingrediensløsninger (recept 1 og recept 2 for henholdsvis helbrød og baguettes).

Brødkvaliteten falder med længere tids fryselagring på grund af rekrystallisation. For nitrogenfrysning ses ikke de store ændringer, da iskrystallerne ikke når at få en kritisk størrelse, hvor de ødelægger glutennetværket, der tilbageholder CO<sub>2</sub>. Luftfrysning giver større specifik volumen end nitrogenfrysning ved kort tids fryselagring og falder til samme niveau som nitrogenfrysning ved længere tids fryselagring. Iskrystallerne har derfor en størrelse, hvor der sker en ødelæggelse af glutennetværket.

For baguettes og helbrød er der fundet optimale hævetider, der øger kvaliteten af det færdigbagte brød. For helbrød er den optimale rasketid 40 minutter og for baguettes er den optimale rasketid 35 minutter.

Ved anvendelse af immersionsfrysning kan der opnås betydelige driftsbesparelser på køleanlægget ved at hæve fordampningstemperaturen med 10°C i forhold til frysning med luft. Dog var brødkvaliteten ikke så høj for brød, der var fremstillet af dej, som var immersionsfrosset. Det forventes dog, at kvaliteten kan forbedres, hvis dejene emballeres inden immersionsfrysningen. Nitrogenfrysning bør anvendes på produkter med høj kilo pris samt ved mindre produktionsmængder.

## 14 Referenceliste

1. Frosne gærdeje, bedre brød : et nordisk samarbejdsprojekt, redigeret af Ole Tolboe, 1990

## Bilag 6: Samtlige målinger

Dej	Nitrogen											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes
Recept	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	35	40	47	35	45	42	30	35	40	40	35	30
Vandtemp	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	18	18	18	18	18	18
Dej temp	24,2	24,4	24,2	24,2	24,4	24,4	28,2	28,4	27,9	26,8	27,6	27,7
Dato	06-feb	06-feb	06-feb	06-feb	06-feb	06-feb	14-feb	14-feb	14-feb	14-feb	14-feb	14-feb
Temperatur	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
Id	30	35	40	40	45	35	24	25	27	35	30	30
Kernetemp	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
<b>1. Bagning</b>	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb	28-feb
Dage på lager	22	22	22	22	22	22	14	14	14	14	14	14
Volumen	1800	1780	1840	1700	1810	1740	1230	1280	1330	1290	1250	1210
	1760	1830	1860	1680	1800	1830	1230	1340	1340	1280	1310	1220
	1780	1740	1820	1700	1800	1860	1150	1300	1410	1280	1250	1140
Middel Volumen	1780,0	1783,3	1840,0	1693,3	1803,3	1810,0	1203,3	1306,7	1360,0	1283,3	1270,0	1190,0
Vægt	480,2	470	471,3	473,2	472,5	475	317,7	316,7	309,7	316	318,4	327,9
	481,6	482,7	466,8	480	478,9	480,9	320,2	323,2	308,1	326,7	318,8	330,1
	470,3	477,9	479	481,3	471,9	482,8	314,8	323,7	308,3	322,7	316,2	330,9
Middel vægt	477,3	476,7	472,0	478,2	474,2	479,6	317,6	321,2	308,7	321,8	317,8	329,6
Spec Volumen	3,73	3,74	3,90	3,54	3,80	3,77	3,79	4,07	4,41	3,99	4,00	3,61
Krumme	7	8	5	9	5	6	5	7	7	7	4	4
Ausbund	7	6	4	8	4	4	8	7	4	4	4	6
Snit	8	8	8	8	8	8	7	6	5	6	7	8
Spredhed	6	6	6	6	6	6	4	7	7	6	6	5
Total	28	28	23	31	23	24	24	27	23	23	21	23
<b>2. Bagning</b>	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar	18-mar
Dage på lager	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Volumen	1720	1670	1680	1530	1680	1630	1270	1220	1240	1160	1130	1180
	1760	1640	1660	1600	1670	1720	1160	1190	1260	1310	1260	1160
	1780	1720	1770	1590	1860	1770	1360	1270	1290	1200	1200	1130
Middel Volumen	1753,3	1676,7	1703,3	1573,3	1736,7	1706,7	1263,3	1226,7	1263,3	1223,3	1196,7	1156,7
Vægt	463,7	479,6	467,9	471,3	459,1	464,7	316,1	317	316,5	308,9	316,2	317,4
	466	485,4	464,3	469,8	462,6	466,1	316	316,8	317	311,4	319,3	321,6
	467,7	470,4	473,5	464	465,8	464,8	313	318,1	318,9	317	322,8	320,8
Middel vægt	465,8	478,5	468,6	468,4	462,5	465,2	315,0	317,3	317,5	312,4	319,4	319,9
Spec Volumen	3,76	3,50	3,64	3,36	3,75	3,67	4,01	3,87	3,98	3,92	3,75	3,62
Krumme	7	8	8	5	6	7	4	8	7	6	6	6
Ausbund	6	8	6	7	6	7	7	8	5	5	8	5
Snit	7	8	7	8	7	7	5	8	6	6	8	5
Spredhed	6	5	8	6	6	7	4	3	6	5	5	6
Total	26	29	29	26	25	28	20	27	24	22	27	22
<b>3. Bagning</b>	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr	30-apr
Dage på lager	83,00	83,00	83,00	83,00	83,00	83,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Volumen	1700	1820	1850	1660	1800	1790	1270	1260	1280	1280	1230	1160
	1820	1780	1800	1600	1770	1800	1280	1270	1330	1350	1150	1180
	1700	1820	1840	1620	1800	1800	1250	1240	1310	1290	1200	1200
Middel Volumen	1740,0	1806,7	1830,0	1626,7	1790,0	1796,7	1266,7	1256,7	1306,7	1306,7	1193,3	1180,0
Vægt	485,8	477,6	476,7	479,2	474,4	481,2	318,5	324,9	313,4	307,1	318,3	315
	478,4	475,8	480	480,2	474,7	478	316,2	316,9	319,1	312,6	315,1	316,8
	487,4	480,2	474,9	482,6	475,3	481,3	314,7	315,7	319,4	304	318,4	312,3
Middel vægt	483,9	477,9	477,2	480,7	474,8	480,2	316,5	319,2	317,3	307,9	317,3	314,7
Spec Volumen	3,60	3,78	3,83	3,38	3,77	3,74	4,00	3,94	4,12	4,24	3,76	3,75
Krumme	9	8	8	8	8	8	8	7	6	9	6	8
Ausbund	7	7	8	5	8	6	7	8	8	6	7	7
Snit	8	8	8	8	8	8	8	9	9	8	8	8
Spredhed	5	5	5	6	5	5	4	4	4	4	4	4
Total	29	28	29	27	29	27	27	27	27	27	25	27
<b>4. Bagning</b>	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt	22-okt
Dage på lager	258,00	258,00	258,00	258,00	258,00	258,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Vægt	476,5	490	486,4	492,4	483,2	482,1	304,6	309,6	308,5	308,5	314	319,3
	482,9	492,6	486,8	493,3	485,9	478,9	312,4	316,8	312,3	308,8	311,1	322,8
	478,7	493,8	485,6	482,1	488,3	486,6	298,6	317,5	306	311,1	308,5	317,3
Middel vægt	479,4	492,1	486,3	491,3	485,8	482,5	305,2	314,6	308,9	309,5	311,2	319,8
Volumen	1600	1700	1740	1640	1860	1800	1100	1380	1190	1220	1160	1220
	1570	1720	1820	1680	1820	1800	1110	1200	1270	1260	1200	1200
	1630	1690	1790	1650	1850	1820	1110	1280	1270	1300	1240	1220
Middel Volumen	1600	1703,3	1783,3	1623,3	1843,3	1806,7	1106,7	1286,7	1243,3	1260,0	1200,0	1213,333333
Spec Volumen	3,34	3,46	3,67	3,30	3,79	3,74	3,63	4,09	4,02	4,07	3,86	3,79
Krumme	6	6	6	7	6	7	6	6	6	6	6	6

Luffrysning												
Dej	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes	Baguettes
Hydro	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	40	45	35	35	40	45	30	35	40	40	35	30
Vand temp	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	18	18	18	18	18	18
Dej temp	26,6	26,4	26,6	26	26,2	26,1	26,6	26,4	27,4	28	27,9	27,6
Dato	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	03-jul	16-jun	16-jun	16-jun	16-jun
Temperatur	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35
Tid	55	50	50	60	60	60	40	40	40	40	40	40
Kernetemp	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-10	-10	-10	-10	-10	-10
<b>1. Bagning</b>	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	17-jul	09-jul	09-jul	09-jul	09-jul
Dage på lager	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Volumen	2160	1910	1900	1900	2120	2000	1340	1210	1200	1280	1290	1250
	2100	2080	2000	1980	1930	2050	1410	1200	1220	1300	1260	1260
	2030	1970	1910	1830	1950	1990	1340	1260	1270	1270	1270	1200
Middel Volumen	2096,7	1986,7	1936,7	1903,3	2000,0	2013,3	1363,3	1223,3	1230,0	1283,3	1273,3	1236,7
Vægt	475,1	480	475,7	474,6	475,5	477,9	311,2	316,4	323,9	312,9	312,5	295,2
	482,2	482,4	475	480	474,8	481,6	314	311,6	320,7	316,8	293,4	291,3
	476	474,1	463,7	474,3	463,5	463,9	307,3	322,5	321,2	316,3	301,1	305,2
Middel vægt	477,8	478,8	471,5	476,3	471,3	474,5	310,8	316,8	321,9	315,3	302,3	297,2
Spec Volumen	4,39	4,15	4,11	4,00	4,24	4,24	4,39	3,86	3,82	4,07	4,21	4,16
Krumme	7	7	7	7	7	7	8	8	7	5	7	6
Ausbund	5	5	8	7	6	5	7	7	7	6	6	8
Snit	7	7	8	7	7	7	8	8	4	7	7	4
Sprødhed	5	5	6	5	5	5	6	6	4	6	6	6
Total	24	24	29	26	25	24	29	29	22	24	26	24
<b>2. Bagning</b>	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug	13-aug
Dage på lager	41,00	41,00	41,00	41,00	41,00	41,00	41,00	41,00	58,00	58,00	58,00	58,00
Volumen	2100	2100	2030	1890	2090	2050	1500	1420	1340	1320	1250	1240
	2200	2130	1950	1850	2120	2050	1490	1450	1190	1280	1360	1300
	2000	2020	2030	1910	2000	2000	1450	1430	1330	1260	1380	1280
Middel Volumen	2100,0	2083,3	2003,3	1883,3	2070,0	2033,3	1480,0	1433,3	1286,7	1286,7	1330,0	1273,3
Vægt	482,2	472	473,6	480,4	471,4	478,3	305,5	310,3	315,8	306,6	310,7	309,7
	476,2	475,4	474,8	477,9	483,2	487,9	301,2	312,9	310,7	305,7	300,4	309,1
	473,3	478,7	476,9	479,8	473,4	482	301,6	310,6	309	311,9	310,5	310,4
Middel vægt	477	475	475	479	476	483	303	311	312	308	307	310
Spec Volumen	4,40	4,38	4,22	3,93	4,35	4,21	4,89	4,60	4,13	4,18	4,33	4,11
Krumme	7	7	7	8	7	7	8	8	7	5	5	8
Ausbund	8	7	7	7	7	8	7	7	7	6	6	7
Snit	8	7	7	6	8	8	7	6	5	6	6	8
Sprødhed	8	6	7	7	8	7	6	6	7	8	5	5
Total	31	27	28	28	30	30	28	27	26	25	22	28
<b>3. Bagning</b>	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt	23-okt
Dage på lager	112,00	112,00	112,00	112,00	112,00	112,00	112,00	112,00	129,00	129,00	129,00	129,00
Volumen	1900	2000	1900	1900	1950	2000	1300	1375	1325	1300	1325	1325
	2025	1725	1925	1800	1850	1775	1400	1300	1200	1275	1350	1300
	1950	1925	1950	2050	1925	1750	1425	1375	1275	1275	1450	1250
Middel Volumen	1958,3	1883,3	1925	1916,7	1908,3	1841,7	1375	1350	1266,7	1283,3	1375,0	1291,7
Vægt	487,3	490,3	487,2	477,9	487,3	489,3	313,6	310,7	331	318,5	316,1	308,6
	484,5	477,3	489,1	457,3	482,5	482,3	310,4	310,2	333	312,4	321	313,1
	490,6	488,8	483,4	492,8	492,1	481,6	323	304,7	333,8	308,9	322,8	309,1
Middel vægt	487,5	485,5	486,6	476,0	487,3	484,4	315,7	308,5	332,6	313,3	320,0	310,3
Spec Volumen	4,02	3,88	3,96	4,03	3,92	3,80	4,36	4,38	3,81	4,10	4,30	4,16
Krumme	6	6	8	7	7	8	7	8	5	8	6	5
Ausbund	7	7	7	6	7	7	5	6	6	6	6	6
Snit	7	7	5	5	6	7	7	7	5	7	5	5
Sprødhed	7	7	7	7	7	7	6	5	5	5	5	5
Total	27	27	27	25	27	29	25	26	21	26	22	21
<b>4. Bagning</b>	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb	17-feb
Dage på lager	229,00	229,00	229,00	229,00	229,00	229,00	229,00	229,00	246,00	246,00	246,00	246,00
Vægt	467,2	483,8	467,5	493,1	483,9	461,6	298,7	0	325,1	316,2	305,3	311,1
	445,5	486,1	481,8	466,7	485,4	485,5	302,4	0	316,4	312,6	299,5	307,3
	482,6	487,5	473,2	480,7	477,8	485,1	297,1	0	321,6	302,7	299,4	310
Middel Vægt	465,1	485,8	474,2	480,2	482,4	477,4	299,4	0,0	321,0	310,5	301,4	309,5
Volumen	1660	1880	1730	1740	1830	1820	1340	0	1130	1100	1170	1180
	1690	1920	1780	1770	1720	1750	1220	0	1200	1180	1140	1210
	1630	1910	1550	1670	1770	1630	1240	0	1220	1120	1200	1210
Middel Volumen	1660,0	1903,3	1686,7	1726,7	1773,3	1733,3	1266,7	0,0	1183,3	1133,3	1170,0	1200,0
Spec Volumen	3,57	3,92	3,56	3,60	3,68	3,63	4,23	0,00	3,69	3,65	3,88	3,88
Krumme	5	4	7	5	7	5	6	0	6	5	5	7

N2/Immersion												
Dej	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	36
Brød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Helbrød	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes	Baquettes
Hydro	Recept 2	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 1	Recept 2	Recept 2	Recept 2
Rasketid	35	40	35	40	45	45	40	30	35	40	35	30
Vand temp	15,1	14	14,5	13	12	10,5	10,6	10,2	12	12,5	12,2	12,5
Dej temp	22	23	24	25	25,6	26,5	26,7	26,8	27,1	27,5	26,5	27
Dato	01-sep	01-sep	01-sep	01-sep	23-sep	23-sep	23-sep	23-sep	01-okt	01-okt	01-okt	01-okt
Temperatur	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'	-88 og -25'
Tid	6,5 m/30 m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m	6,5m/30m
Kernetemp	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
<b>1. Bagning</b>	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt	29-okt
Dage på lager	58,00	58,00	58,00	58,00	58,00	36,00	36,00	36,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Volumen	1680	1740	1590	1780	1790	1980	1110	920	1200	1310	1370	1200
	1730	1800	1700	1720	1780	1880	1080	1020	1280	1250	1280	1230
	1750	1770	1780	1740	1760	1860	1160	1000	1200	1260	1320	1120
Middel Volumen	1720,0	1770,0	1690,0	1746,7	1776,7	1940,0	1116,7	980,0	1226,7	1273,3	1323,3	1183,3
Vægt	485,4	464,8	508,7	463	488	485,4	269,9	262,2	304,6	299,5	317,1	320,5
	472,9	474	479,9	457,5	482	493,3	266,9	264	305,8	296,6	304,4	310
	482,7	482,7	471,3	464,4	488,9	490,4	266,8	262,1	305	296,1	314,2	320,7
Middel vægt	480,3	473,8	486,6	461,6	486,3	489,7	264,5	262,8	305,1	297,4	311,9	317,1
Spec Volumen	3,58	3,74	3,47	3,78	3,65	3,96	4,22	3,73	4,02	4,28	4,24	3,73
Krumme	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Ausbund	4	5	4	4	4	4	7	7	7	7	8	7
Snit	5	5	5	7	4	4	8	6	8	8	8	8
Spredhed	6	7	6	7	6	5	5	6	6	6	6	6
Total	19	21	19	22	18	17	26	25	27	27	28	27
<b>2. Bagning</b>	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec	03-dec
Dage på lager	93,00	93,00	93,00	93,00	71,00	71,00	71,00	71,00	63,00	63,00	63,00	63,00
Volumen	1610	1750	1650	1760	1730	1840	1040	960	1170	1260	1220	1330
	1640	1590	1820	1580	1870	1670	1120	1000	1180	1100	1250	1280
	1670	1850	1700	1680	1540	1720	1030	940	1160	1200	1360	1300
Middel Volumen	1640	1730	1723,333333	1673,333333	1713,333333	1743,333333	1063,333333	966,666667	1170	1186,666667	1276,666667	1296,666667
Vægt	469	468	465	460	502	483,2	268,7	259,7	304,7	296,1	310,4	308,7
	475	487	475	461	485	491	264,1	262,4	303,1	299	302,9	318,9
	468	477	451	462	485	491	260	263,6	297,4	295,9	327,4	345,7
Middel vægt	470,67	477,33	463,67	461,00	490,67	488,40	264,27	261,90	301,73	297,00	313,57	324,43
Spec Volumen	3,48	3,62	3,72	3,63	3,49	3,57	4,02	3,69	3,88	4,00	4,07	4,00
Krumme	7	7	7	7	7	7	5	5	5	3	4	5
Ausbund	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Snit	4	4	4	4	4	4	7	7	7	7	7	7
Spredhed	8	8	8	8	8	8	5	5	5	6	6	5
Total	24	24	24	24	24	24	22	22	22	21	22	22
<b>3. Bagning</b>	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb	04-feb
Dage på lager	156,00	156,00	156,00	156,00	134,00	134,00	134,00	134,00	126,00	126,00	126,00	126,00
Volumen	1610	1730	1630	1740	1710	1710	970	890	1240	1270	1000	1250
	1520	1770	1600	1510	1660	1580	950	890	1270	1190	1200	1180
	1530	1740	1670	1650	1650	1680	1030	950	1160	1200	1200	1230
Middel Volumen	1553,3	1746,7	1633,3	1633,3	1673,3	1656,7	983,3	910,0	1223,3	1220,0	1133,3	1220,0
Vægt	486,1	479,1	469,6	462,8	470,8	497,3	263	258,8	302,9	295,7	301,8	306,9
	474,9	495,7	474,4	472,6	497,5	489,1	267,7	260,9	303,7	293,4	282,4	306,5
	479,4	485,3	496,2	463,1	480	487,5	267,2	254,7	300,8	282,5	306,2	295,1
Middel vægt	480,13	486,70	480,07	466,17	482,77	491,30	265,97	258,13	302,47	290,53	286,50	302,83
Spec Volumen	3,24	3,59	3,40	3,50	3,47	3,37	3,70	3,53	4,04	4,20	3,95	4,03
Krumme	4	4	4	4	4	6	6	5	5	6	7	6
Ausbund	6	5	5	7	5	5	5	6	6	6	6	7
Snit	8	7	7	8	5	5	4	6	6	6	6	8
Spredhed	5	5	5	7	5	7	5	6	6	6	6	7
Total	23	21	21	26	21	23	20	23	23	24	25	28
<b>4. Bagning</b>												
Dage på lager												
Volumen												
Middel Volumen												
Vægt												
Middel vægt												
Spec Volumen												
Ausbund												