

# Afslutningsrapport

Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

Mejeribrugets ForskningsFond

Rapport nr. 2007-83

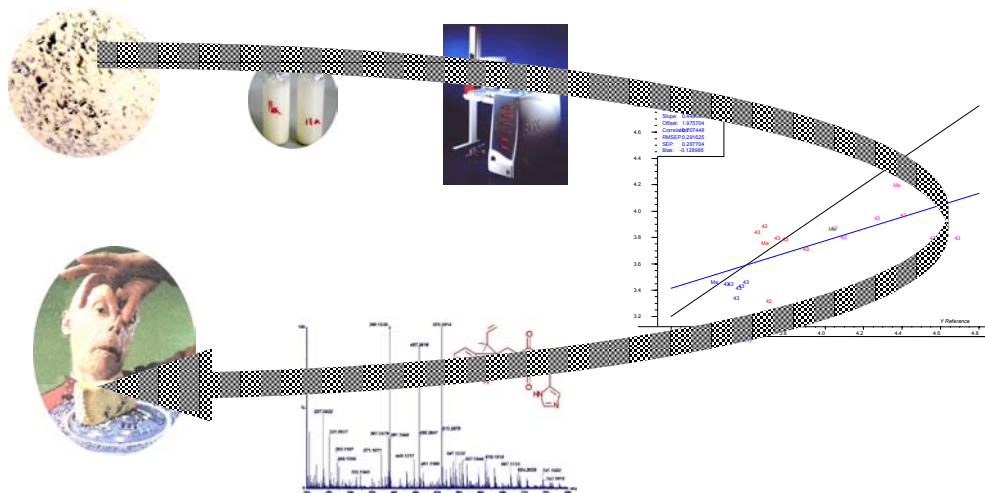
*Februar 2007*



**mejeri**foreningen

danish dairy board

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost



## Projektperiode:

1. december 2000 - 31. oktober 2004

## Projektleder:

Lektor Per Væggemose Nielsen  
BioCentrum-DTU  
Søltøfts Plads, Bygning 221  
2800 Kgs. Lyngby  
Tlf.: 4525 2631, Fax: 4588 4922  
E-mail: pvn@biocentrum.dtu.dk

## Øvrige ansatte på projektet:

Ph.d.-studerende Jeorgos Trihaas, Biocentrum-DTU  
Laboratorietekniker Mirella Simkus, Biocentrum-DTU

## Finansiering:

Projektet var finansieret af Mejeribrugets ForskningsFond. Det var associeret til EU-Cost projektet QLK1-2000-01763: Rapid detection of microbial contaminants in food products using electronic nose technology (ENOSE FOOD MICRO DETECT) og tæt forbundet med FØTEK-samarbejdsprojektet: Effekt af miljøfaktorer på smag og aromastofdannelse i danske skimmeloste.

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

## Sammendrag:

Projektets formål var at udvikle og udnytte elektroniske næse-sensorteknologien (e-næser) til hurtig og tidlig detektion af mikrobiel kvalitet, herunder indholdet af bakterier, gær, skimmel-svampe og aromastoffer i levnedsmidler - og mere specifikt i ost.

Levnedsmiddelkvalitet er altafgørende for både levnedsmiddelproducenter og forbrugere. Men ligeså vigtig den er, ligeså svært kan det være at bestemme, endstige forudsige kvaliteten. Kvaliteten af et levnedsmiddel som fx en skimmelost er nemlig en sammensat størrelse. Ud over den kemiske sammensætning og indholdet af ønskede og uønskede mikroorganismer er der også de mere subjektive parametre som smag, lugt, og hvordan den føles i munden.

Men netop kompleksiteten gør det interessant at udvikle en objektiv og hurtig metode til kvalitetsvurdering, der helst også skal kunne forudsige kvalitetsudviklingen af oste ud fra forholdsvis simple målinger. Oste er levende og ændrer sig meget under modning og lagring, så der er et stort ønske om at kunne forudsige og helst også styre deres udvikling.

I dette projekt er to e-næser med forskellige målesensorteknologier afprøvet på alt fra laboratoriesubstrater, der var designet til at simulere centrum eller overfladen af en eller flere ostetyper, over til forsøgsoste og oste udtaget fra produktionslinien i en kommerciel produktion. Parallelt med e-næseanalyserne er der udført traditionelle mikrobiologiske og kemiske analyser (9) og avancerede kromatografiske analyser. Endelig har trænedes smagsdommere vurderet udvalgte oste (3). Ved at sammenkæde data med avancerede multivariate dataanalysetekniker (mønstergenkendelsesteknikker eller kemometri) har det været muligt at udvikle modeller, der kan forudsige den kemiske sammensætning og den mikrobiologiske kvalitet af oste ud fra simple e-næsemålinger (1-10).

På det mere grundforskningsmæssige plan har projektet resulteret i en dybere forståelse af, hvorledes forskellige miljøforhold indvirker på skimmelsvampes fremspiring, vækst og metabolismedannelse. En erkendelse der kan hjælpe med at forstå de interaktioner, der er mellem forskellige mikroorganismer i skimmeloste (ph.d.-rapport).

Men det vigtigste, umiddelbart anvendelige resultat for mejeriindustrien er, at det på baggrund af tre til fire e-næseprøver udtaget gennem de første uger af modningsforløbet med ny prøve-udtagningsteknik og anvendelse af multivariate kalibreringsmetoder er muligt at forudsige kvaliteten af skimmeloste flere uger ud i fremtiden. Dette kan udnyttes af mejeriindustrien til bedre kvalitetsstyring samt bedre styring af lagre og distribution. Der er udarbejdet en plan for implementering af denne teknik i den danske mejeriindustri, der dog afventer finansiering.

## English Summary:

The aim of the project was to develop and utilize the electronic nose sensor technology (e-nose) for rapid and early detection of microbial quality, to include bacteria, yeast, mold and aroma components in foods - in particular cheese.

The project was financed by the Danish Dairy Research Foundation. It was associated to the EU-Cost project QLK1-2000-01763: Rapid detection of microbial contaminants in food products using electronic nose technology (ENOSE FOOD MICRO DETECT) and linked to the FØTEK-collaborative project: Effect of environmental conditions on taste and aroma formation in Danish mould ripened cheeses.

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

High food quality is essential both for food producers and consumers. But just as important quality is, just as difficult it is to determine and even predict. This is due to the fact that quality of food products like for example blue mould cheese is a very complex mix of a wide range of quality parameters. Besides the chemical composition and content of wanted and unwanted micro-organisms, more subjective parameters like taste, smell, mouth feel and appearance are important.

But it is the complexity that makes it interesting to develop an objective and rapid method for quality evaluation and preferably also quality prediction of cheeses based on quick and simple analysis. Cheeses are respiring and may undergo radical changes during maturation and storage, thus there is a great interest in prediction and controlling this development.

In this project two different e-noses with different sensing systems are used to analyze laboratory substrates, designed to simulate different part of a cheese (center or surface) at different stages of maturation, different types of experimental cheese, and finally "real" cheeses taken directly from the production line of a commercial cheese production. In parallel with the e-nose readings, a large number of traditional microbiological and chemical analyses (9) and advanced chromatographic analyses were carried out. On top of that, the cheeses were analyzed by a trained sensory panel (3). By combining all these data and treat them with advanced multivariate data analysis techniques (chemometrics), it was possible to develop models, which predict the chemical composition and the microbiological quality of cheese based on simple e-nose readings (1-10).

More fundamental research findings have provided a deeper understanding of how environmental conditions affect fungal germination, growth, and metabolism. These relationships will assist in gaining a better understanding of the interactions between the different micro-organisms that co-exist in mould cheeses (PhD report).

The most important finding for the dairy industry was that it is possible to predict the quality of cheese early in the maturation process. The technique is based on two to four subsequent e-nose readings taken during the first weeks of maturation with our new sampling technique and the use of multivariate calibration (chemometrics). This method can be used by the dairy industry for better quality control, better management of storage rooms and lead to more optimal distribution. A plan for the implementation of the technique in the Danish dairy industry has been proposed but awaits financing.

## Projektets faglige forløb:

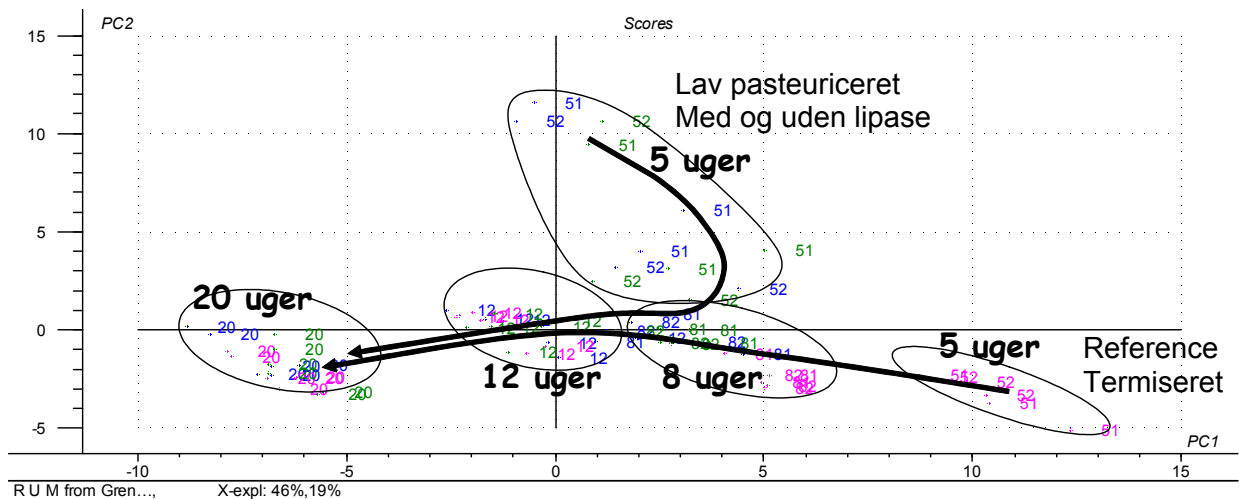
Projektet var inddelt i 8 faser, svarende til faserne i EU-Cost projektet. I en af faserne (D) har vi ikke deltaget aktivt i arbejdet. Resultaterne fra denne fase er derfor ikke afrapporteret her.

### **A: Laboratoriestudier af tidlig detektion og differentiering mellem vigtige bakterier, gær og skimmelsvampe i ost**

Denne fase blev gennemført dels via et studie af semisyntetiske modeloste dels ved analyser på Danablu-oste fra en normal produktion på to mejerier i forbindelse med samarbejdet med FØTEK-projektet: "Effekt af miljøfaktorer på smag og aromastofdannelse i danske skimmeloste".

## Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

Danablu-ostene blev analyseret 5, 8, 12, 20 og 33 uger efter saltning. Data fra de to mejerier viste, at der er mulighed for at skelne mellem mejerier, ostetype og modningstrin. Som det ses i Figur 1, er det tydeligt, at der kan kendes forskel på prøverne, særligt i forhold til type af varmebehandling og modningstrin (udvikling af aroma i oste over tid) (1-3,5). Det var også muligt tidligt at bestemme indholdet af kontaminanten *G. candidum* i ostene (5, 8). Disse data har i kombination med GC-MS resultater gjort det muligt at optimere brugen af den elektroniske næse til analyse af blåskimmelost.



R (lilla), M (blå) og U (grøn) oste fra mejeri 1. E-næse data

Fig 1. Grafisk fremstilling af udviklingen i Danablu-ostene fra mejeri 1. De termiserede oste (lilla) og de lavpasteuriserede oste (blå og grøn) er markant forskellige i starten, men efter 8-12 uger nærmer profilerne sig hinanden og kan ikke længere skelnes.

Der blev udviklet modeller baseret på multivariat dataanalyse (kemometri) og i et enkelt tilfælde (4) på neurale netværksmetoder, såkaldte support vektor-maskiner.

Studiet af semisyntetiske oste blev af praktiske årsager først udført i projektets andet år pga. omfanget af arbejde i den ovenstående del. Studiet blev planlagt som et Box-Behnken design med 5 faktorer (temperatur, pH, Aw, O<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub>) for 4 vigtige osterelaterede svampe (*Penicillium roqueforti*, *P. verrucosum*, *Geotrichum candidum* og *Debaromyces hansenii*) og udvalgte blandinger af disse. Mediet blev fremstillet ud fra usaltet Danablu-ost, som blev frosset og smuldret, hvorefter det blev frysetørret, vakuumpakket og opbevaret ved -30°C indtil det skulle anvendes. Efter rekonstituering blev Aw justeret med NaCl og pH med NaOH og mediet fyldt i 20 ml headspaceglas med 5 ml i hver. Ligeledes blev der fremstillet normale petriskåle med mediet. De flygtige stoffer blev målt med e-næse, mens germination og vækst blev registreret ved mikroskopi og visuel bedømmelse.

Data viste, at den elektroniske næse kan detektere mikroorganismer i substratet efter 4 dage ved 10°C (i nogle tilfælde allerede efter 2 dage), hvilket i alle tilfælde var før mikrobiel vækst er synligt. Figur 2 viser adskillelsen efter 3 dage ved 11% ilt, 25% kuldioxid, pH 5,25 og 4,9% salt i vandfasen.

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

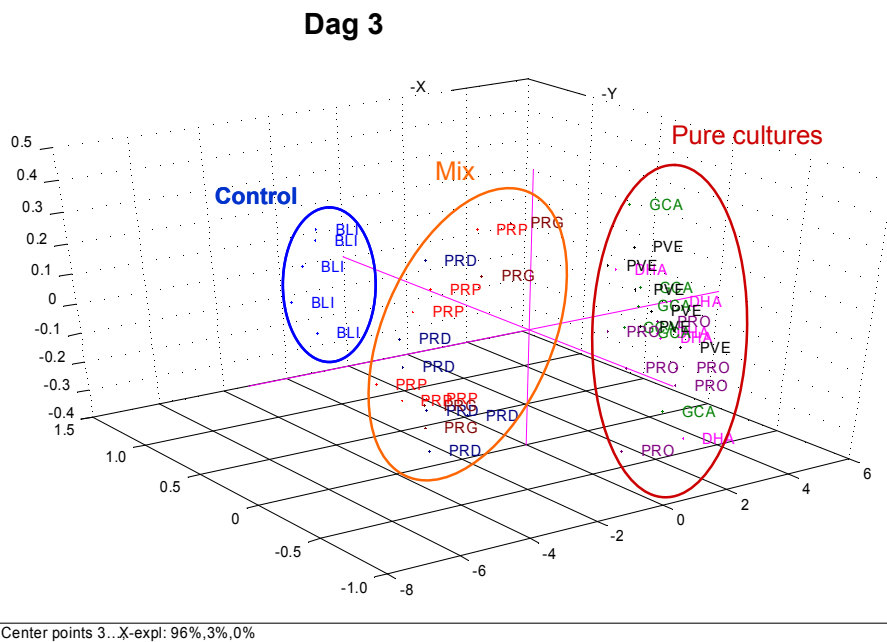


Fig. 2. Detektion af vækst på ostesubstrat med pH 5,25 og 4,9% salt i vandfasen opbevaret ved 11% ilt, 25% kuldioxid og 10°C i 3 døgn. Det ses, at renkulturerne (Pure cultures) adskiller sig tydeligt fra blandinger af svampene (Mix) og den upodede kontrol (Control).

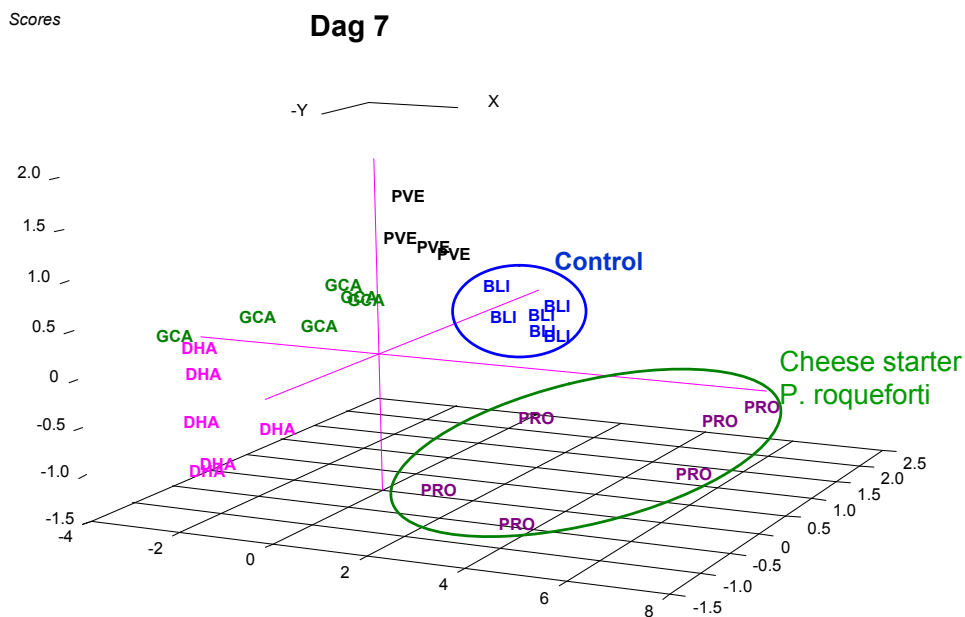


Fig. 3. Den elektroniske næse kunne skelne mellem de testede svampe på ostesubstrat med pH 5,25 og 4,9% salt i vandfasen efter 7 døgn ved 11% ilt, 25% kuldioxid og 10°C.

Differentiering mellem de forskellige arter var først fuldstændig efter 7 døgn som vist på Figur 3 (ph.d.-afhandling, kapitel 5).

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

## **B: Differentiering mellem fysiologiske, ikke-mikrobielle og mikrobielle kvalitetsændringer**

Ændringer på sterilt ostesubstrat (ikke-podet) viste, at aromaprofilen af substratet ændrede sig med tiden. Forskellen var målelig efter 2 uger og steg med tiden. Det var således muligt at skelne mellem mikrobielle og ikke-mikrobielle ændringer i osten (ph.d.-afhandling, kapitel 6).

I et større studie af Danablu blev der vist en sammenhæng mellem e-næse målinger og en række kemiske målinger, som ikke nødvendigvis kan relateres til mikrobiel vækst, men nærmere er et udtryk for kemiske ændringer i osten over tid. Det drejer sig især om indholdet af specifikke fedtsyrer og visse aromakomponenter (9).

I et andet studie blev det vist, at den elektroniske næse er velegnet til at detektere emballage med afsmag eksemplificeret med fetaostbægre, hvor tryksværten gav afsmag (ph.d.-afhandling, kapitel 7).

## **C: Undersøgelse af muligheden for at differentiere mellem toksiske og ikke-toksiske mikroorganismer i levnedsmiddelmatricer og sammenligning med andre bioassays**

Ostesubstrater (med to forskellige salt niveauer) og laboratoriesubstrater (CYA og PDA agar) blev podet med toksinproducerende skimmelsvampe og analyseret for toksindannelse ved HPLC og i et bioassay af partnere i EU-projektet. Sammenligning med e-næsedata viste, at det er muligt at skelne mellem toksinogene og ikke-toksinogene isolater af *Penicillium verrucosum* (citrinin-niveau), mens der for andre svampe ikke blev fundet nogen tydelig sammenhæng mellem elektronisk næse-responset og mykotoksindannelsen.

## **D: Undersøgelse af muligheden for anvendelse af e-næser til screening og evaluering af konserveringsmiddel niveauer**

Fasen blev udført af andre partnere i projektet og er derfor ikke rapporteret her.

## **E: På levnedsmiddelanaloger undersøges følsomhed for og genkendelse af mikroorganismer set i forhold til acceptable niveauer i forbindelse med traditionelle metoder**

E-næse data blev sammenlignet med analyser af, hvornår germination og vækst kan detekteres i mikroskop og visuelt. Det blev vist, at der allerede efter 3 dage ved 7-15°C kan kendes forskel på prøver hvor svampene germinerer, og prøver hvor der ikke er konstateret germination. Der kan også ses forskel på e-næse profilen af kontaminanter 3-7 dage efter podning, hvilket er før væksten er synligt.

E-næsen kunne detektere disse forskelle helt ned til koncentrationer på kun 100 sporer per prøve (5 ml ostesubstrat), mod de  $10^5$  sporer per 10 ml prøve, der kræves til traditionelle metoder som mikroskopi og visuel inspektion. Der kunne ligeledes registreres indflydelse af substratets saltindhold samt miljøforhold (ilt og kuldioxid) og temperatur på detektionsniveauet med e-næsen.

I kommercielt fremstillede skimmeloste kunne den elektroniske næse detektere indholdet af kontaminanten *G. candidum* i ostene og dermed måle den mikrobielle kvalitet, som det fremgår af Figur 4. (8-10).

## Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

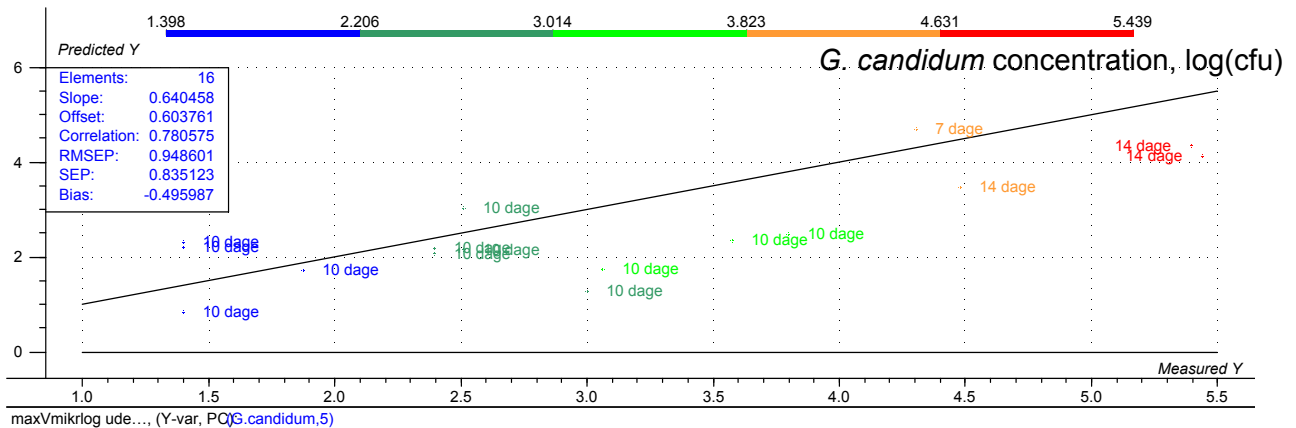


Fig. 4. På baggrund af elektronisk næse-målinger kunne indholdet af den uønskede svamp *Geotrichum candidum* forudsiges. Skalaen giver et mål for kontaminationen i logaritmen til kolonidannende enheder pr. gram.

### F: Kollaborative undersøgelser mellem laboratorier (samarbejdspartnere) til optimering og validering af metodologi

I samarbejde med partnerne i EU-projektet gennemførte vi et stort inter-laboratorieforsøg med henblik på at undersøge, hvorvidt e-næseteknologi kan anvendes til detektion af mikrobiel kontamination på brød (disse resultater er medtaget, da de viser noget om generelle tendenser). Vores EU-samarbejdspartnere benyttede forskellige metoder til analyserne (forskellige e-næse systemer, GC-MS samt mikrobiologiske analyser). Data fra de forskellige systemer, metoder og laboratorier blev koblet sammen i en database og blev undersøgt for korrelationer mellem de forskellige e-næseinstrumenter, sensorer og andre metoder. Endelig blev korrelationer mellem laboratorierne foretaget.

Metal Oxide Semiconductor (MOS)-sensorer som anvendes på udstyret på DTU (aFOX 3000 e-næse) var de bedste til at følge ændringerne i brødet over tid. MOS-sensorerne kunne skelne og identificere de forskellige kulturer allerede efter 24 timer. Metoden kunne ligeledes detektere antallet af svampe, gær og bakterier, der blev anvendt i forsøget (ph.d.-afhandling, kapitel 7).

Det blev desuden vist, hvordan man ved hjælp af en e-næse og multivariat dataanalyse kan kalibrere komplicerede metoder og få styr på store datamængder.

### G: Test af e-næser i levnedsmiddelfremstillingsvirksomheder til kvalitetskontrol og skelnen mellem god (accepteret) og dårlig (kasseret) kvalitet i sammenligning med traditionelle metoder

Samarbejdet med FØTEK-projektet: "Effekt af miljøfaktorer på smag og aromastofdannelse i danske skimmeloste" gjorde det muligt at gennemføre flere test på kommercielle produkter. Det resulterede i en række modeller for Danablu-oste (1-3, 5, 7-10).

En innovativ metode til klassificering af unge oste (0-4 uger) blev opbygget i samarbejde med lektor Hans Heinrich Bothe, Ørsted-DTU. Den omfattede anvendelse af en type neurale netværk (Support Vektor Maskine) til kortlægning kvaliteten af blåskimmelost målt med e-næse (4).

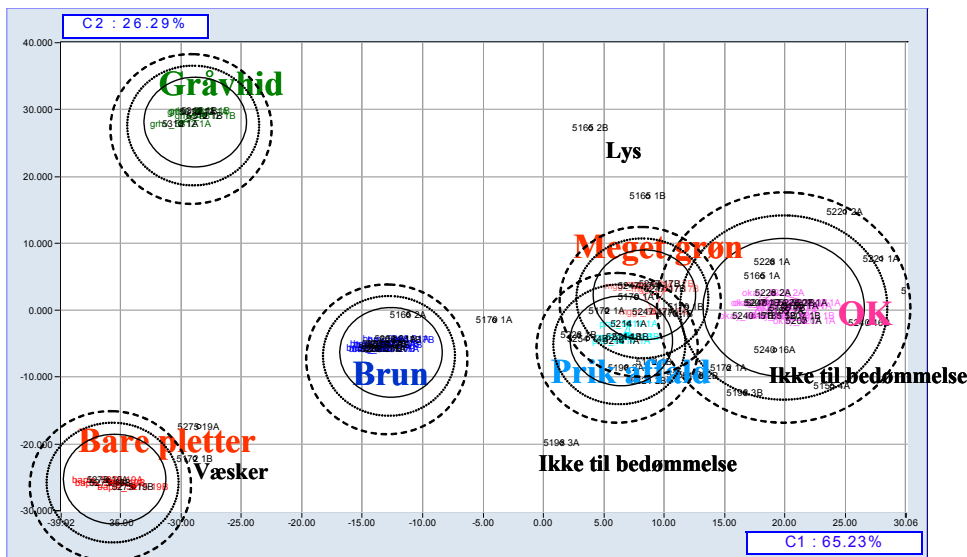
Et egentligt proof-of-concept forsøg blev gennemført sammen med Arla Foods og Tholstrup Cheese. E-næseteknologien blev brugt på oste fremstillet i de ovennævnte virksomheder. Formålet var at kortlægge ostens udvikling tidligt (første to uger) over for en længere periode



# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

(5-6 måneder) til kvalitetskontrol og skelnen mellem god (accepteret) og dårlig (kasseret) kvalitet i sammenligning med andre traditionelle metoder (mikrobiologiske undersøgelser af kontaminanter).

En metode blev etableret for "Sort Castello" fra Tholstrup Cheese. Analysen førte til et "kvalitetskort", som det viste i Figur 5. Det kan anvendes til vurdering af nye, ukendte osteprøver. Metoden viste en meget god forudsigelse af den sensoriske bedømmelse, som osten ville få efter 6 uger, altså 2-3 uger efter den sidste e-næsemåling (ph.d.-afhandling, kapitel 5).



Graf taget fra  $\alpha$  M.O.S. software. DFA model over kvalitet "ydre" uanset alderen.

Fig. 5. Kvalitetskort for Sort Castello. Kortet er fremstillet på baggrund af e-næse målinger af 100 oste. E-næse målinger af nye oste vil placere dem på kortet, så det kan forudsiges hvordan bedømmelsen af osten vil falde ud i en efterfølgende sensoriske bedømmelse.

E-næsemålingerne på Danablu fra Arla Foods viste en klar korrelation til indholdet af *G. candidum* og *P. roqueforti* i osten (ph.d.-afhandling, kapitel 5).

## H: Kost/benefit analyser af mulighederne for kommerciel udnyttelse af teknologien i levnedsmiddelindustrien

Der er udarbejdet en plan for implementering af en e-næse i osteproduktion. Planen indebærer bl.a. installation af en elektronisk næse dedikeret til produktionen til en pris af ca. 250.000 kr.

E-næsemålingerne kan komme ind som en del af rutinemålingerne i produktionen og skal sammenkøres med øvrige data fra produktionen. Det er vist, at der på baggrund af måling gennem de første 3 uger af ostens modningsforløb kan forudsiges, hvilken bedømmelse osten får efter 6 uger. En udnyttelse af denne viden vil kunne føre til en bedre udnyttelse af lagerkapaciteten og en mere optimal planlægning af anvendelsen af ostene. Vi er dog ikke kommet frem til nogen endelig vurdering af værdien af dette.

Samlet set vurderes alle faser som gennemført med succes, og der er opnået proof-of-concept af, at metoden med fordel kan anvendes i mejeriindustrien.

# Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

## Samarbejdsrelationer nationalt og internationalt:

Projektet udspringer af EU-Cost projektet QLK1-2000-01763: Rapid detection of microbial contaminants in food products using electronic nose technology (ENOSE FOOD MICRO DETECT) og blev bevilget af Mejeribrugets ForskningsFond som et supplement til dette projekt, for dermed at sikre finansieringen af et ph.d.-projekt. Der har således været et meget tæt samarbejde og fælles koordinering af aktiviteter med de andre samarbejdspartere i EU-cost projektet. Det har været et meget udbytterigt samarbejde, som også har gjort det muligt for det danske mejeribrug at få førstehåndsindsigt i EU-projektet.

Projektet har styrket vores samarbejde med andre forskningsmiljøer i Europa både inden for skimmelmodnede oste og inden for anvendelse af elektronisk næse til kvalitetsvurdering af fødevarer. Forskerne fra dette projekt har således holdt mange foredrag på internationale møder og ageret som censor på ph.d.-studier i England og Sverige.

Projektet her også været knyttet tæt til FØTEK-samarbejdsprojektet: "Effekt af miljøfaktorer på smag og aromastofdannelse i danske skimmeloste". Herigennem er der skabt adgang til forskning i anvendelse af e-næse på kommercielle produkter under produktionsforhold. Dette samarbejde har således været afgørende for succesen både i dette projekt og samtidig bidraget positivt til succesen i EU-Cost projektet. Der har også været samarbejde med FØTEK-samarbejdsprojektet: "Kvalitet og holdbarhed af hvidskimmelost", hvilket førte til undersøgelser af sammenhængen mellem NIR og e-næse.

Under projektet har der været tæt samarbejde med både Arla Foods og Tholstrup Cheese. Ligeledes har der været tæt samarbejde med Arla Foods Innovation i Brabrand. I alle tilfælde har samarbejdet fungeret meget godt. Der har været en god dialog og det har været muligt for os at få fremskaffet de oste og osteprøver der har været brug for i projektet. Specielt i relation til den sidste fase og udviklingen af et projekt til implementering af metoderne i udvalgte mejerier har der været en meget positiv dialog.

## Forskeruddannelse:

Projektet har især haft stor betydning for ph.d.-uddannelsen af Jeorgos Trihaas, men har også haft betydning for Marianne Decker og Dorthe Dorph-Petersens ph.d.-uddannelse. Erfaringer fra dette projekt var afgørende for, at det blev muligt for os at arrangere den internationale workshop "E-nose data analysis" på DTU den 17.-18. april 2002.

Desuden har projektleder bl.a. qua projektet været censor på en række opgaver i udlandet: Censor ved ph.d. forsvaret for Jesper Magnusson "Antifungal Activity of lactic acid bacteria", Institut for Mikrobiologi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 9. maj 2003.

Eksaminator ved ph.d.-viva-forsvaret for Olinda Canhoto "Application of electronic nose for environmental applications", Cranfield University, UK, 29. april 2005.

## Resultaternes praktiske og videnskabelige betydning:

Projektet har haft betydning for Arla Foods i forbindelse med deres nedlukning af Grenå Mejeri og overflytning af produktionen til Høgelund Mejeri.

## Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

Projektet har vist, at metoderne vil kunne anvendes til opnåelse af en bedre og mere ensartet kvalitet. Derfor vil anvendelsen af disse principper kunne føre til en øget beskæftigelse.

Projektet har dannet grundlag for kompetenceopbygning hos projektdeltagerne, som efterfølgende er blevet benyttet i forbindelse med uddannelsen af levnedsmiddelkandidater. Ligeledes har projektet ført til en større forståelse af de deltagende partners produktionsprocesser i forbindelse med produktion af skimmeloste.

Projektet har vist styrken af at sammenkæde mange analyser kemometrisk. Specielt har det styrket brugen af den elektroniske næse til kvalitetsovervågning og –styring. Muligheden for meget tidligt at detektere fejl i produktionen vil kunne sikre et mindre spild og dermed en mindre miljøbelastning. Det var dog ikke muligt at skaffe den fornødne finansiering til at implementere disse resultater (se nedenfor).

Som tidligere nævnt har de gode resultater med at sammenkæde elektronisk næse-målinger med fysisk, kemiske, sensoriske og mikrobiologiske målinger på skimmeloste ført til, at vi sammen med Arla Foods, Tholstrup Cheese og Alpha MOSS, Frankrig udfærdigede en ansøgning til innovationsloven om et nyt projekt med titlen: "Mejeriprodukter, kvalitetsstyring ved elektronisk næse teknologi" (Journalnummer 3414-04-00908). Det blev imidlertid kun tildelt en støtte på 25% af total budgettet i projektet, hvorfor det trods mange forsøg på at skaffe yderligere midler ikke var muligt at få det startet op. Der er imidlertid store perspektiver i en implementering af denne teknologi i forbindelse med osteproduktion generelt, idet det vil kunne medvirke til en mere sikker og mindre personafhængig styring af produktionen.

### Publikationer:

Der har været et meget tæt samarbejde med projektet "Effekt af miljøfaktorer på smag og aromastofdannelse i danske skimmeloste", hvorfor der vil være et vist overlap i publikationslisten med dette projekt, men de opgjorte publikationer er alle et direkte resultat af dette projekt.

#### Afhandling:

Trihaas, J. "Implementation of an Electronic nose in quality control of food products", DTU-Biocentrum", 7. november 2005.

#### Artikler:

1. Trihaas, J. og P.V. Nielsen. 2002. "Elektroniske næse (E-næse). Nyt værktøj for kvalitetskontrol. Mælkeritidende, 13/14, 318-322.
2. Trihaas, J., T. van den Tempel og P. V. Nielsen. 2003. "Ripening Monitoring of Danish Blue Cheese by Means of Electronic Nose System, Trained Sensory Panel and GC-MS". Fra "Flavour Research at the Dawn of the Twenty-first Century" (Proceedings of the 10th Weurman Flavour Research Symposium). Redigeret af J.L. Le Quéré og P.X. Etiévant .Lavoisier, Paris, 2003, 729-732.
3. Trihaas, J., T. van den Tempel og P. V. Nielsen. 2003. "Quality control of Danish Blue Cheese with an Electronic nose". Fra Proceedings of ISOEN'02 (Proceedings of the Ninth International Symposium on Olfaction and Electronic Nose). Redigeret af A. D'Amico og C. Natale. Aracne, Rom, 2003, 281-284.
4. Trihaas, J. og H. H. Bothe. 2003. "Support Vector Machines: An application on E-nose data". Fra Proceedings of ISOEN'02 (Proceedings of the Ninth International Symposium on

## Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

- Olfaction and Electronic Nose). Redigeret af A. D'Amico og C. Natale. Aracne, Rom, 2003, 170-174.
5. Trihaas, J., T. van den Tempel og P. V. Nielsen. 2003. "Electronic nose: smelling the microbiological quality of cheese". Fra Proceedings of ISOEN'02 (Proceedings of the Ninth International Symposium on Olfaction and Electronic Nose). Redigeret af A. D'Amico og C. Natale. Aracne, Rom, 2003, 380-384.
  6. Nielsen, P.V. 2003. Hvad er det der giver skimmelosten sin gode smag? Mælkeritidende 2003(17), 388-393.
  7. Trihaas, J. 2004. "E-nose" in Danish Blue cheese production. (New tool for quality control during ripening)". European Dairy Magazine, 4,13-14.
  8. Trihaas, J., T. van den Temple og P. V. Nielsen. 2005. "Electronic Nose Technology in Quality Assessment. Predicting the Volatile Composition of Danish Blue Cheese". Journal of Food Science, 70:E392-400.
  9. Trihaas, J., L. Vognsen og P. V. Nielsen. 2005. "Electronic Nose: New tool in modeling the ripening of Danish Blue Cheese". International Dairy Journal, 15: 679-691.
  10. Trihaas, J. og P. V. Nielsen. 2005. "Electronic Nose Technology in Quality Assessment. Monitoring the Ripening Process of Danish Blue Cheese". Journal of Food Science, 70: E44-E49.

### Foredrag:

Trihaas, J. "E-nose: Smelling the microbiological quality of cheese". 9. ISOEN symposium, Rom, oktober 2002.

Trihaas, J. "Brug af e-næse til måling i skimmeloste". Temadage, Bioteknologisk Institut, Kolding, 7. februar 2002.

Nielsen, P. V. "Ecophysiology of food borne fungi". Center for Process Biotechnology, DTU, 28. februar 2003.

Nielsen, P. V. "Måling af ostekvalitet med sensorer". Mejeribrugets Forårsseminar, Dalum Landbrugsskole, Odense, 4. marts 2003.

Trihaas, J. "Electronic nose in quality control of Danish Blue Cheese". Fredagsseminarer, Centre for Microbial Biotechnology, DTU, 5. september 2003.

Nielsen, P. V., J. Trihaas og M. Decker. "New rapid methods for detection and identification of fungal contaminants of food", 5th International Workshop on Food Mycology, Ballen Badehotel, Samsø, 16.-19. oktober 2003.

Nielsen, P. V. "Fungi in foods, detection, prevention and control", foredrag i forbindelse med besøg i Denmark-China co-operation, Administration and inspection techniques training on entry-exit, food package container, utensil, package materials. KVL, København, 29. oktober 2003.

Trihaas, J. "Electronic nose: New tool in modelling the ripening of Danish blue cheese". IDF Symposium on Cheese, Prag, marts 2004.

Nielsen, P.V. "Er den elektroniske næse og andre objective målemetoder et alternativ til sensorikken?", Temadag om mælk, Dalum UddannelsesCenter, Odense, 1. december 2004.

Nielsen, P.V. "Anvendelse af elektronisk næse til kvalitetsvurdering i mejeriindustrien", Danmarks Mejeritekniske Selskabs seminar "Fremtidige perspektiver ved anvendelse af in-, on- og at-line målemetoder i forbindelse med processtyring", Sabro, 19. januar 2005.

## Elektronisk næse til hurtig detektion af mikrobiel kvalitet af ost

### Posters:

Trihaas, J., T. van den Tempel, A. Amiri-rad, L. Stahnke og P. V. Nielsen. 2001. "Ripening Evaluation of Danablu by GC-MS, GC-olfactometry and Image analysis". Levnedsmiddelkongres 2001 – Kvalitet fra jord til bord, KVL, 17.-18. januar 2001.

Trihaas, J., T. van den Tempel og P. V. Nielsen. "Electronic nose – a new tool for evaluation of cheese quality". Levnedsmiddelkongres 2001 – Kvalitet fra jord til bord, KVL, 17.-18. januar 2001.

Decker, M., J. Trihaas og P. V. Nielsen. "White mould cheese – new tools for objective quality evaluation". LMC kongres, DTU, 2002.

Trihaas, J., T. van den Tempel og P. V. Nielsen. "Quality control of Danish blue cheese with an electronic nose". ISOEN'02 (Ninth International Symposium on Olfaction and Electronic Nose). Rom, 29. september - 2. oktober 2002.

Ud over disse indgår resultater fra projektet i en række bogkapitler, artikler og præsentationer.

