

Lugtudbredelse fra kvægstalde

Pernille Lund Kasper^a

^a Teknologisk Institut

STØTTET AF

Mælkeafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Koncentrationen af lugtstoffer er bestemt i forskellig afstand ud til 500 meter fra to kvægstalde. Lugtstofferne blev målt med PTR-MS-instrument. Resultaterne viste, at den kemiske sammensætning af lugtstoffer ændres allerede inden for de første 25 m fra staldene, og med stigende afstand bliver p-cresol stadig mere dominerende, mens bl.a. svovlforbindelser og flygtige fedtsyrer aftager relativt hurtigere. Sekundære kilder, som gyllebeholdere og ensilagelagre, påvirker desuden lugtbilledet væsentligt i bestemte afstandszoner. Samlet dokumenterer resultaterne, at kemisk reaktivitet, deponering og staldens udformning kan have stor betydning for lugtudbredelsen, og at det nuværende OML-baserede reguleringsgrundlag kun delvist beskriver den reelle lugtbelastning fra kvægbrug.

Baggrund

Kvæg- og mælkeproducenter, som ønsker at etablere eller udvide besætninger, mødes ofte med et krav om miljøgodkendelse, som indbefatter beregning af geneafstande til nærliggende bebyggelse i forhold til lugt. Til dette formål anvendes Miljøstyrelsens reguleringsystem baseret på OML-modellen af rådgivere og myndigheder. OML-modellen er en atmosfærisk spredningsmodel, som primært anvendes til at beregne udbredelsen af luftforurening fra virksomheder ud til afstande på 10-20 kilometer fra kilden. Fra januar 2007 har OML-modellen dog også kunnet benyttes til bestemmelse af lugt ved miljøgodkendelser af husdyrbrug.

OML-modellen beregner afstandskrav ud fra standardlugtemissioner og meteorologiske spredningsberegninger. De benyttede standardlugtemissioner er baseret på olfaktometriske målinger og angives som odour units (OUe/s/DE). Herved beskrives lugt, som et samlet lugtbillede, og det antages, at reduktionen i lugt som funktion af afstand fra kilden alene sker ved dispersion og fortynding med ren luft. Det vil sige, at lugt antages at være en inert gas.

Der har inden for den seneste årrække været stor fokus på den kemiske sammensætning af lugt fra husdyrbrug, samt validiteten af olfaktometriske målinger. Kemiske målinger af lugtstoffer har vist, at lugt fra husdyrbrug omfatter flere hundrede flygtige organiske forbindelser inden for forskellige kemiske

grupper og med forskellige kemiske egenskaber. Adskillige studier har fokuseret på problemstillingen i forhold til bevarelse og lagring af disse stoffer i forbindelse med olfaktometriske målinger [3-9].

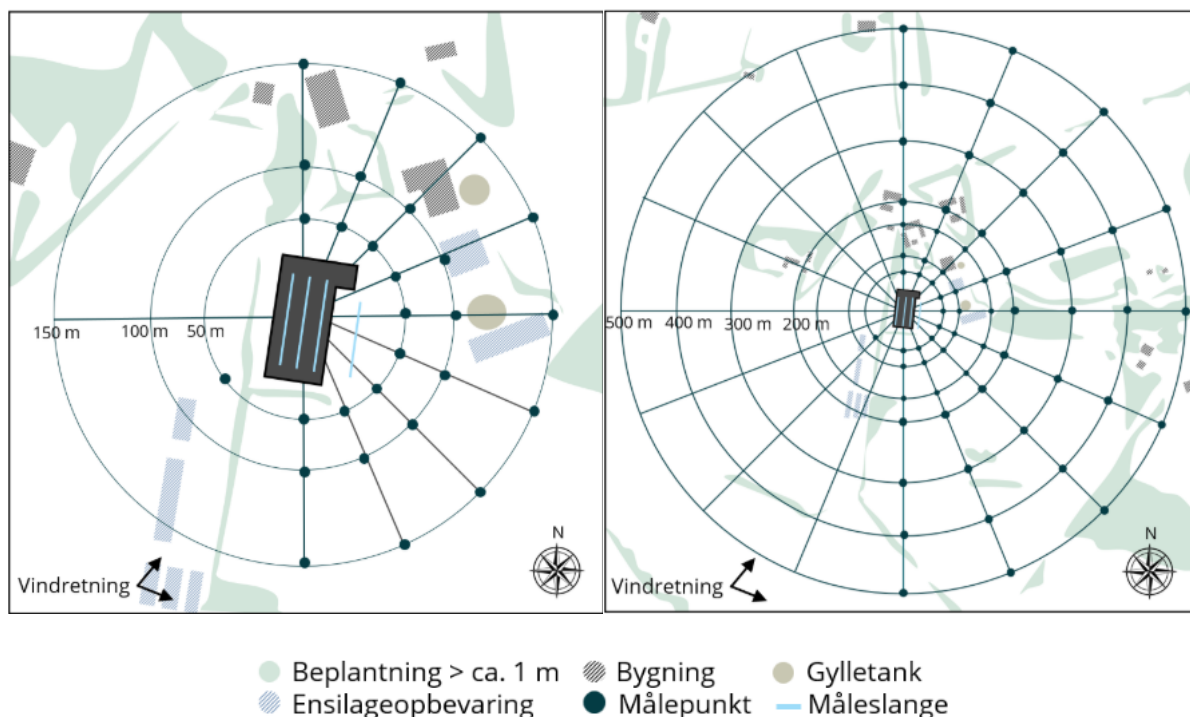
Bevarelsen af disse stoffer i miljøet uden for stalden er dog dårligt belyst. Enkelte studier har vist, at sammensætningen af lugtstoffer forandres med distancen fra kilder i husdyrbruget [1-2], hvilket kan skyldes reaktivitet, deponering, fotokemiske reaktioner m.m. Antagelsen om lugt som en inert gas kan derfor betvivles.

I denne afprøvning undersøges antagelsen af lugt som en passiv gas, baseret på odour units (OUe/s/DE), ved hjælp af kemiske målinger af lugtstoffer i miljøet i og omkring to kvægbesætninger. Herved karakteriseres relevante lugtstoffer samt deres bevarelse i forskellige afstande fra kilden.

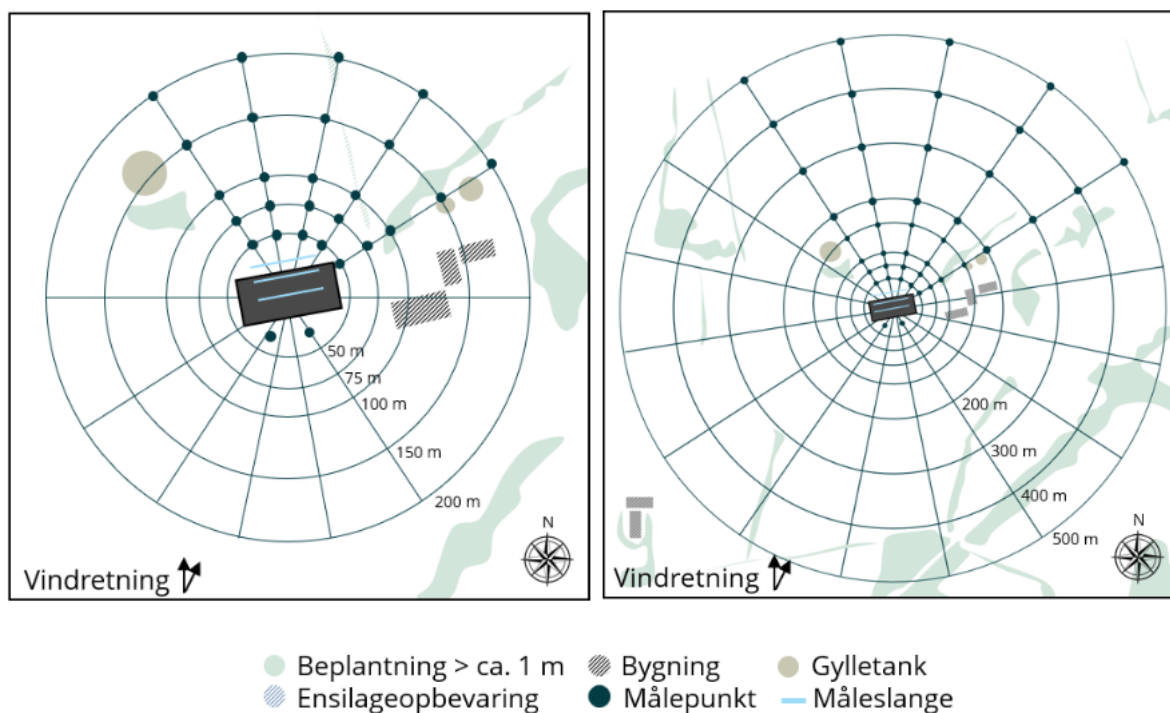
Materialer og metoder

Afprøvningen blev udført i sommerperioden 2021 og 2023 med en målsætning om at gennemføre målingerne på varme sommerdage defineret i lugtreguleringen som dage med en gennemsnits-temperatur på 16°C og derover. Dette er ud fra et såkaldt worst-case princip, idet lugtgener forventes at være størst på disse dage.

De to stalde inkluderet i afprøvningen benævnes stald A og stald B. Begge stalde var med malkekøer, kvier og goldkøer, og indrettet med spaltegulv i gangarealerne samt ringkanalsystem med rundskyl. Stald A havde et produktionsareal på 1216,9 m² mens stald B havde et produktionsareal på 1721 m². Stald A havde længderetning tæt på nord/syd-aksen, mens stald B havde længderetning tæt på øst-vest-aksen. I Figur 1 og 2 ses staldenes placering i forhold til omkringliggende bebyggelse. Det bør bemærkes, at stald A's østvendte side var delvist afskærmet af et læhegn bestående af buskads.



Figur 1 – Stald A: skematisk oversigt over placering af målepunkter, bebyggelse, beplantning, gylletanke m.m.



Figur 2 – Stald B: Skematisk oversigt over placering af målepunkter, bebyggelse, beplantning, gylletanke m.m.

Forsøgsopsætning

I stald A blev der foretaget kontinuerle (online) målinger med PTR-MS-instrument i 5 måleslanger trukket i staldens længderetning (ca. 60 meter). For hver 10 meter var slangerne perforeret og udstyret med en kritisk dyse, for at sikre ensartet flow i hele staldens længde. Der var placeret en måleslange ca. 1 meter fra staldens øst- og vestvendte sideåbning, én i kippen, én i midten af stalden i ca. 4 meters højde, samt én umiddelbart udenfor stalden (25 meter fra staldens midte). I stald B var der tilsvarende opsat 3 måleslanger i stalden; én i nordvendte sideåbning, én i kip og én midt i stalden i ca. 4 meters højde. Derudover var der også ved stald B opsat en måleslange umiddelbart udenfor stalden, ca. 25 meter fra staldens midte. Luft blev opsamlet kontinuerligt gennem måleslanger med CAPEX L2 membranpumper (PTFE belagte) (Charles Austen Pumps Ltd) med et nominelt flow på ca. 8 L. pr. minut. Måleslangerne fra stalden var isolerede og opvarmede på strækningen fra stalden til den mobile målevogn, hvor PTR-MS-instrumentet var placeret.

Lugtprøver i afstand fra stalden blev indsamlet i 5-8 linjer ud fra staldens midte ud til ca. 500 m. (Figur 1 og 2). Yderligere blev der samlet prøver inde i midten af stalden, samt ved nærliggende ensilageopbevaringspladser og gylletanke. Prøverne blev indsamlet i 30 L PTFE-posere (Scentroid) vha. undertryk i vakuumkasser og sidekick pumper. Prøverne blev udtaget i 1,5 m højde. Efter prøverne var udtaget, blev de umiddelbart efter bragt til PTR-MS-instrumentet og analyseret. Poserne blev analyseret både med og uden opvarmning til 60 °C [5]. Disse manuelle prøver blev indsamlet over 2 dage i stald A og 1 dag i stald B.

Ved indsamling af både online og offline målinger kunne prøverne indsamlet omkring stalden til enhver tid relateres til emissionen fra stalden på det tidspunkt, hvor prøven var udtaget. Herved mindskes betydningen af tidsforskydninger mellem udtagningen på de 5 linjer.

I figur 1 og 2 ses fordelingen af målepunkter i og omkring stalden. Kun målepunkter, som faldt indenfor vindretningen på hver måledag, blev inkluderet. Der blev udtaget mellem 30 og 40 lugtprøver i forskellige målepunkter på måledagene. Hvert målepunkt blev bestemt med dobbeltbestemmelse.

I forbindelse med afprøvningen blev betydningen af henfald af lugtstoffer fra kvægstalde i PTFE-posere undersøgt. 3 lugtprøver fra måleslangen i kippen blev fulgt over en periode på 4 timer. Resultatet af disse er vedlagt i figur B1 (Bilag). Det blev fundet, at kun indoler henfalder i betydelig grad indenfor for en kortere tidsperiode. Det estimeres, at genfindingen af indoler er >80% i alle målinger på grund af den korte periode fra udtagning til analyse.

2 poser med nitrogen blev analyseret for at påvise eventuel interferens fra baggrundsstoffer. Alle poser var fra afprøvningens start nye og ubrugte. Genbrug af poser blev kun anvendt indenfor samme målelinje.

PTR-MS

Koncentrationen af lugtstoffer blev bestemt med et PTR-TOF-MS 1000 instrument (Proton-Transfer-Reaction-Time-of-Flight-Mass-Spectrometry, Ionicon Analytik, G.m.b.H). Instrumentets indstillinger er angivet i tabel B1 (Bilag). Mellem måledage og i perioder, hvor der ikke blev udtaget luftprøver i PTFE-posere var PTR-MS-instrumentet tilkoblet en opvarmet ventilboks (60°C) og hver måleslange i stalden blev målt med ventilskifte hvert 10. minut. Derudover blev der i hver målerunde målt på et filter med aktivt kul (Supelpure hydrocarbon trap) til bestemmelse af den instrumentelle baggrund. I perioder med udtagning af luftprøver i PTFE-posere blev ventilskiftet styret manuelt, så hver måleslange og baggrunden på kulfilter blev bestemt løbende. Transmission og svovlbrintekorrektion blev bestemt i hver måleperiode. Detektions- og kvantifikationsgrænsen blev defineret som henholdsvis 3 og 10 gange standardafvigelsen på en blind prøve. Lugtstoffer medtaget i analysen er angivet i tabel 1 [9,10].

Tabel 1: Lugtstoffer inkluderet i analyse

Lugtstof	m/z værdi	Detektions-grænse (ppb)	Kvantifikations-grænse (ppb)	Betydende lugtstof
Svovlbrinte	34	1,4	4,0	+
Metanthiol	49	0,04	0,1	+
Acetaldehyd	45	1,0	3,0	-
Ethanol	47	1,0	3,0	+
Methanol	33	1,6	4,9	+
Acetone	59	0,03	0,1	-
Trimethylamin	60	0,01	0,03	-
Eddikesyre	61+43	0,6	1,8	-
Dimethylsulfid	63	0,03	0,1	-
C4-carbonyl	73	0,02	0,06	-
Propansyre	75+57	0,09	0,3	+
2,3 butanedione	87	0,03	0,08	-
Smørsyre	89+71	0,06	0,2	+
Phenol + Dimethyltrisulfid	95	0,03	0,08	-
C5-carboxylsyre	103+85	0,04	0,1	-
P-cresol	109	0,03	0,09	-
Indol	118	0,007	0,02	-
4-ethylphenol	123	0,01	0,04	-
Dimethyltrisulfid	127	0,007	0,02	-
3-methylindol	132	0,006	0,02	-

Meteorologiske forhold

Ude- og staldtemperaturen, ude- og staldfugtighed, samt vindretning og -hastighed blev logget hver 5. minut via PC-log (VengSystem A/S). Derudover blev der ved hver udtagning af luftprøve i PTFE-pose bestemt temperatur og relativ fugtighed i de enkelte målepunkter med et multimeter af typen Testo 435.

I tabel 2 ses vejrforholdene på måledage med udtagning af luftprøver i PTFE-posen.

Tabel 2. Vejrforhold på måledage

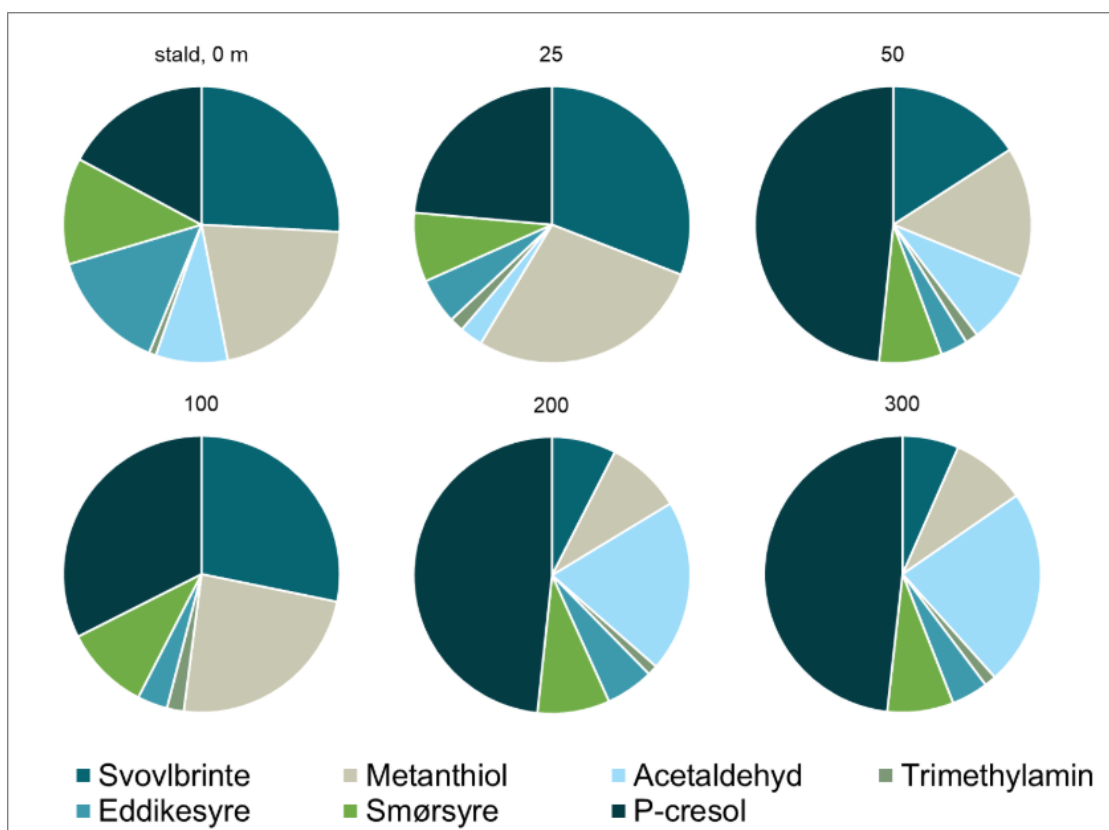
Tidspunkt	Stald	Temperatur °C	Luftfugtighed %	Lufttryk hPa	Vindretning °	Vindhastighed m s ⁻¹	Nedbør Mm
August 2021	A	16,5 (9,6-22,6)	88,2	1013,1	210,7	3,0	6,5
September 2021	A	15,4 (8,4-23,4)	80,8	1019,2	296,4	4,4	0,0
August 2023	B	17,6 (11,5-23,1)	80,0	1015,3	175,3	2,6	0,1

Resultater og diskussion

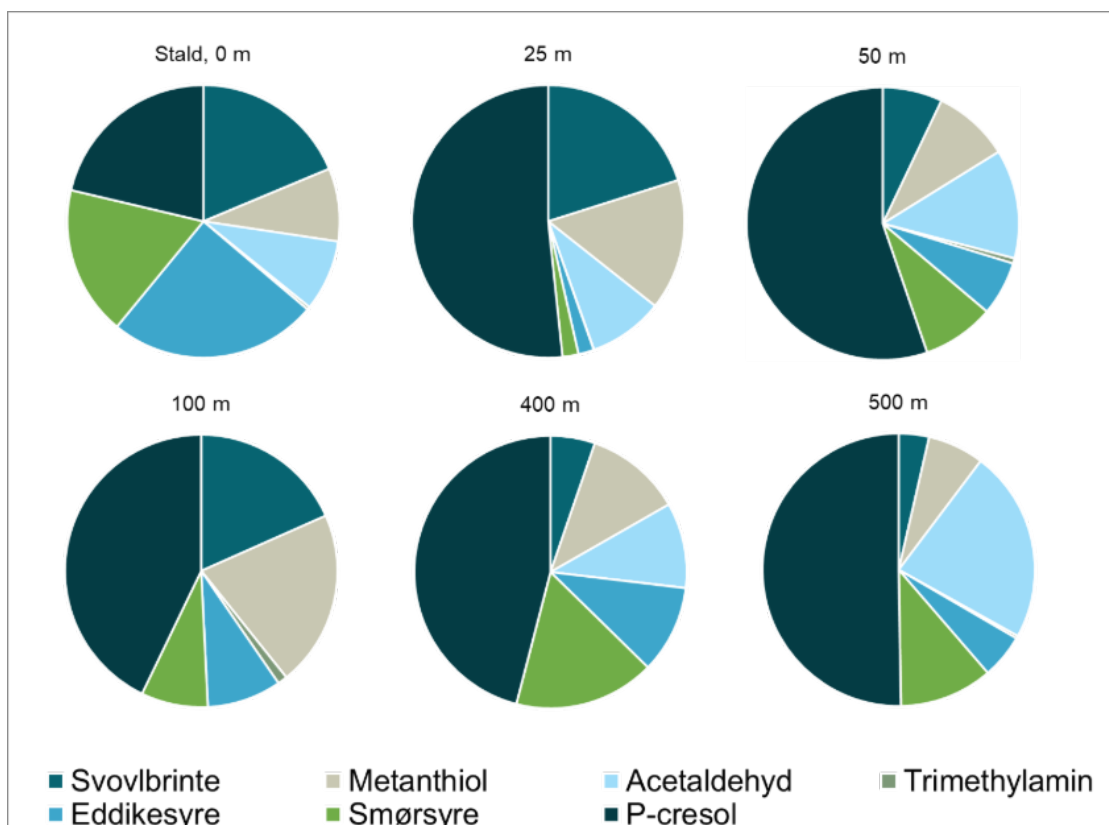
Sammensætning af lugtstoffer på afstand af stald

Samlet viste målingerne ved både stald A og stald B, at lugtens kemiske sammensætning ændrede sig markant med afstanden fra staldene. På staldgulvet (1.5 m højde) i stald A var lugten karakteriseret ved en blanding af flere lugtstoffer, herunder svovlbrinte, metanthiol, p-cresol, eddike- og smørsyre samt acetaldehyd (figur 3 og 4). Allerede 25 meter fra stalden, var sammensætningen i forhold til bidraget af lugtstoffer (defineret ved deres OAV-værdier) ændret, og med stigende afstand blev p-cresol gradvist mere dominerende.

På de største målte afstande fra stald A dominerede p-cresol dermed den samlede SOAV, med mindre bidrag fra bl.a. svovlforbindelser og smørsyre. Samtidig sås enkelte steder et relativt øget bidrag fra acetaldehyd, som ikke entydigt kan tilskrives stalden, men kan stamme fra biogene kilder i omgivelserne, f.eks. vegetation. På begge måledage ved stald A blev der desuden registreret en stigning i bidraget fra svovlforbindelser omkring 100 meter fra stalden, hvilket kan forklares ved en gyllebeholder placeret i denne afstand og dermed en sekundær lugtkilde.

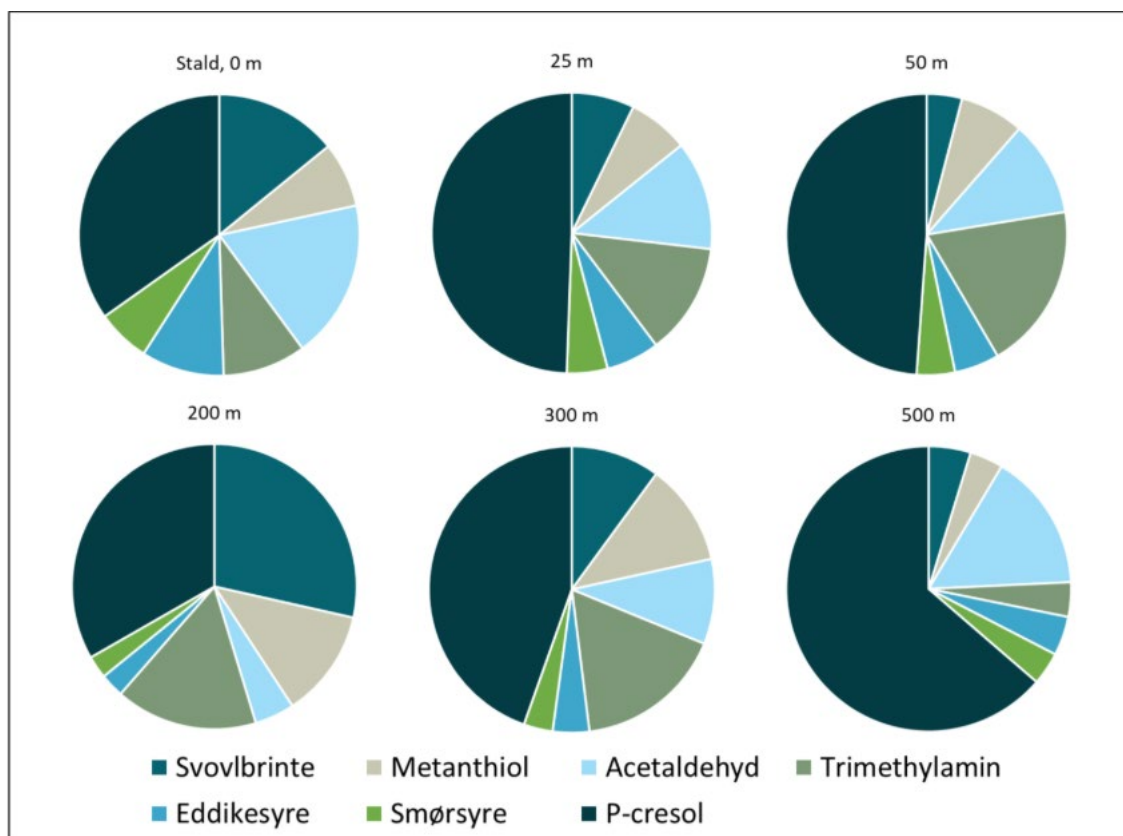


Figur 3. Sammensætning af OAV (Odor Activity Values) i forskellig afstand fra stalden, måledag 1 (august 2021), Stald A.



Figur 4. Sammensætning af OAV (Odor Activity Values) i forskellig afstand fra stalden, måledag 2 (september 2021), Stald A.

Resultaterne fra stald B viste det samme overordnede mønster med ændring i OAV-profilerne som funktion af afstand (figur 5). I stald B var bidraget fra trimethylamin dog højere end i stald A, hvilket kan afspejle forskelle i fodring, mikrobiologi eller staldmiljø. Ligesom ved stald A blev der målt et øget bidrag fra svovlbrinte og metanthiol i en afstand på omkring 200 meter, hvor der ligeledes var placeret en gyllebeholder.



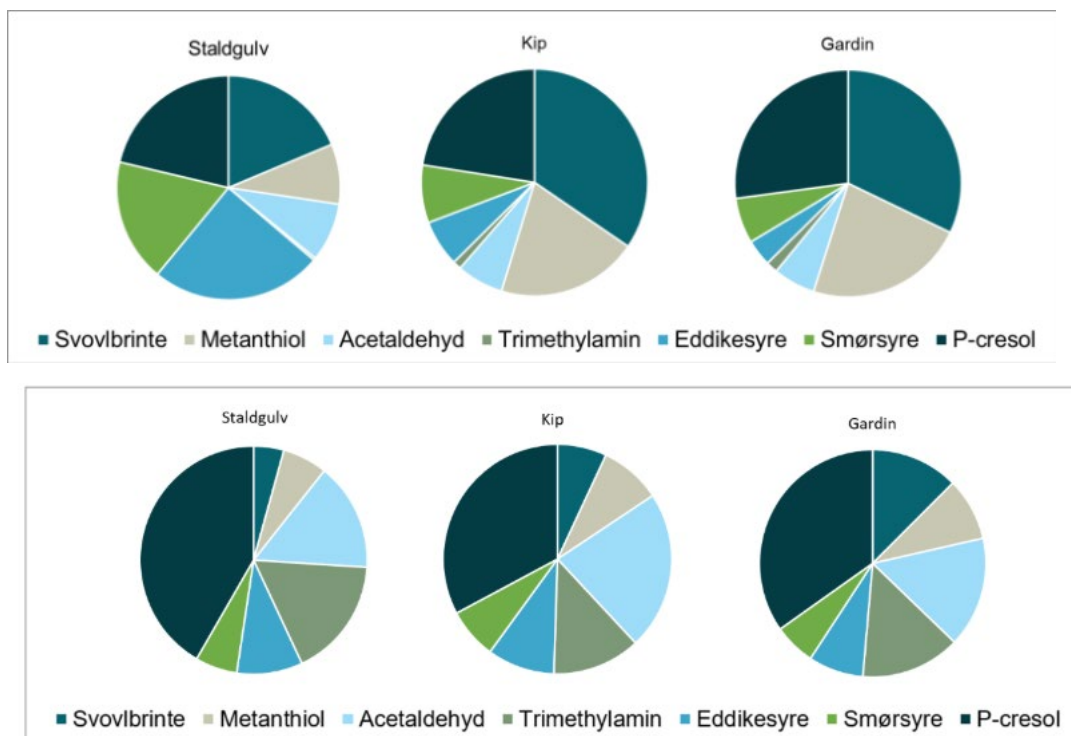
Figur 4 Sammensætning af OAV (Odor Activity Values) i forskellig afstand fra stalden, Stald B.

De observerede ændringer i lugtsammensætningen, som funktion af afstand, dokumenterer, at lugt fra kvægstalde ikke umiddelbart kan antages at opføre sig som en inert gas, der alene fortyndes ved atmosfærisk spredning. Lugtstofferne observeret i dette studie nedbrydes, omdannes eller deponeres tilsyneladende i forskellig grad. Særligt svovlforbindelser og kortkædede fedtsyrer synes at aftage hurtigere end p-cresol, som derfor udgør en relativt større del af lugtbilledet i større afstande fra kilden. Dette svarer til tidligere studier, hvor p-cresol er identificeret som det mest betydende lugtstof på afstand fra kvægbesætninger [1]. Lokale maksimum i svovlforbindelser ved gyllebeholdere understreger samtidig, at sekundære kilder kan bidrage væsentligt til den samlede lugtbelastning i specifikke afstandszoner.

Fordeling af lugtstoffer i stald

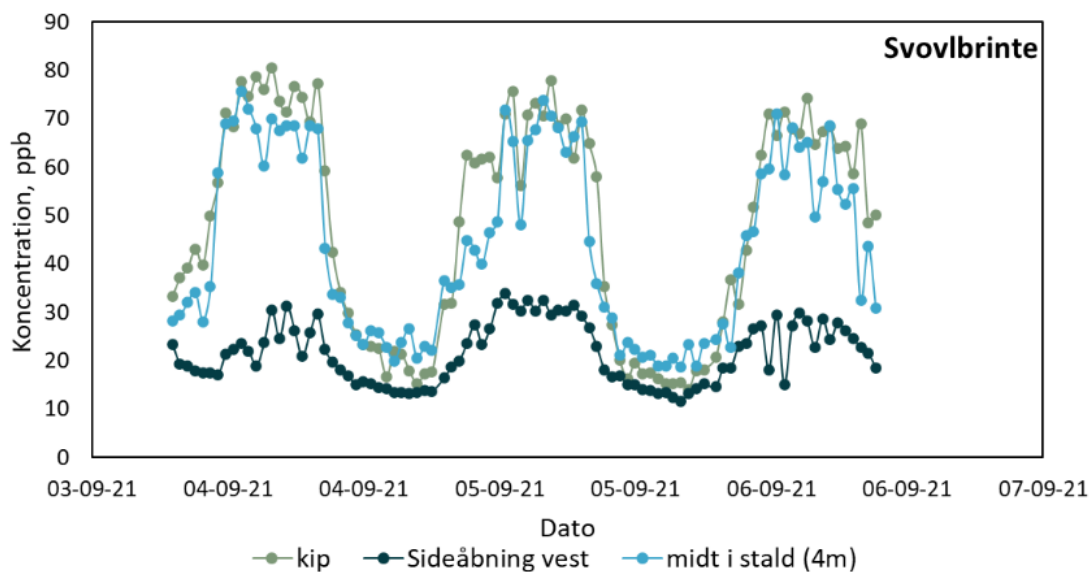
De kontinuerte PTR-MS-målinger via måleslangerne i staldene, viste forskelle i både koncentrationsniveau og kemisk sammensætning, mellem forskellige zoner i staldene. Der var således på måledagene i stald A 30 % højere SOAV-værdi i kip, som i sideåbningen ved læsiden, mens der i stald B gennemsnitligt var 10 % højere SOAV-værdi ved sideåbningen i læsiden end i kippen. Derudover blev der foretaget manuelle målinger i midten af stalden i 1.5 meter højde på måledagene. For stald A havde

disse 23 % højere SOAV-værdi end registreret i kip og 47 % højere end registreret ved gardin i læsiden. For stald B var disse målinger 21 % lavere, end der blev registreret i kip, og 31 % lavere end registreret ved gardin i læsiden. Der var desuden forskel på de gennemsnitlige bidrag fra forskellige lugtstoffer i de manuelle og kontinuerede målinger (figur 5).

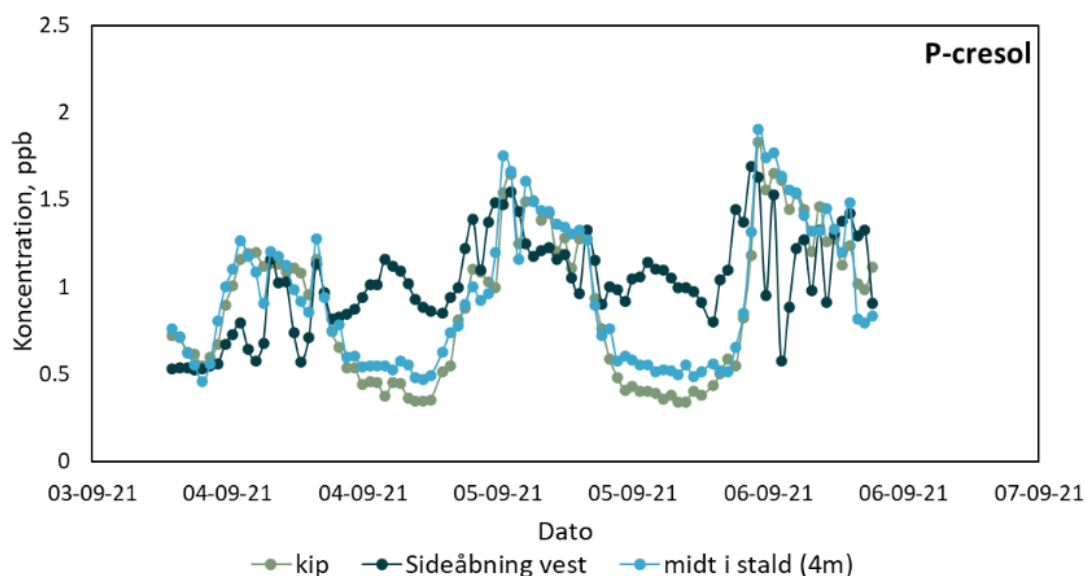


Figur 5. Sammensætning af OAV (Odor Activity Values) forskellige steder i stald A og B.

Samtidig blev der i stald A fundet en systematisk variation mellem enkeltstoffer i målepunkterne. Koncentrationen af svovlbrinte var således højest i kippen, mens de højeste koncentrationer af p-cresol blev målt ved sideåbningerne. Tidsserier over tre døgn viste, at disse forskelle var stabile over tid og ikke blot udtryk for kortvarige udsving.



Figur 7. Målte koncentrationer af svovlbrinte i henholdsvis kip, ved gardin og midt i stalden, Stald A.



Figur 8. Målte koncentrationer af p-cresol i henholdsvis kip, ved gardin og midt i stalden, Stald A.

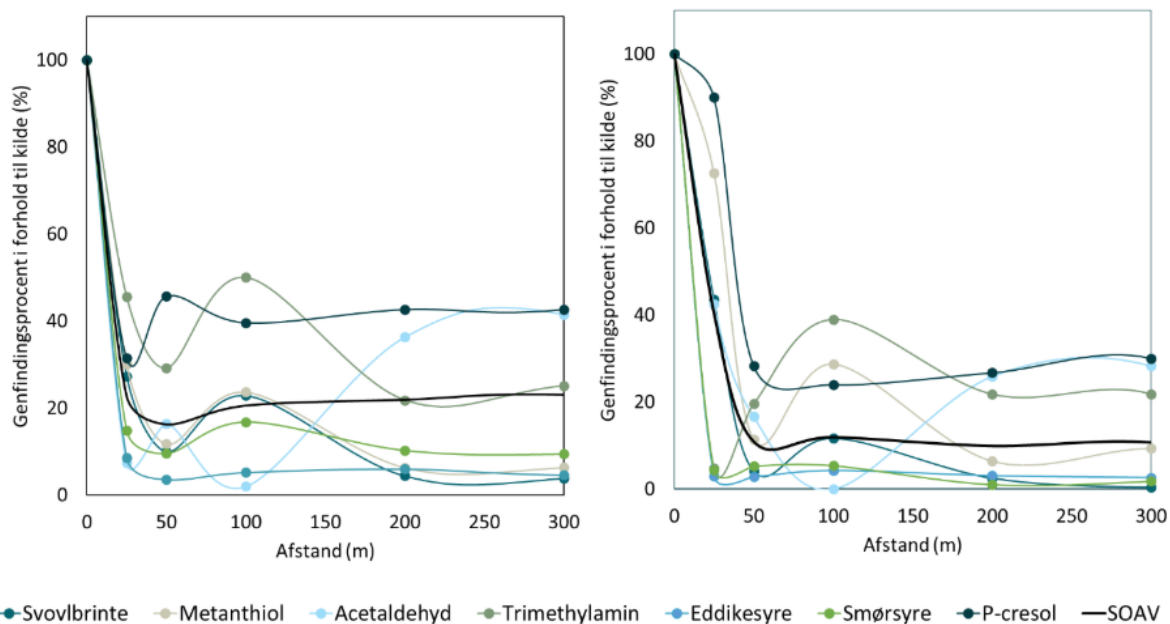
Disse interne forskelle kan afspejle betydningen af faktorer som luftstrømme, temperaturgradienter, fugtighed og staldgeometri. P-cresol er i forhold til svovlbrinte, som er en let og flygtig gas, mere polært og kan i højere grad binde sig til støv og overflader, og dermed være tættere knyttet til luftudskiftningen gennem sideåbningen og dyrenes aktivitet nær disse. I forhold til stald B var stald A mere lukket både i konstruktion og med læhegn i vindsiden på måledage. Dette kan være medvirkende til opbygning af gradienter i stalden.

De målte forskelle mellem målepunkter inde i stalden understreger vigtigheden af at vurdere staldgeometri, ventilationsmønstre, tidspunkt mv. i forhold til udtagning af lugtprøver.

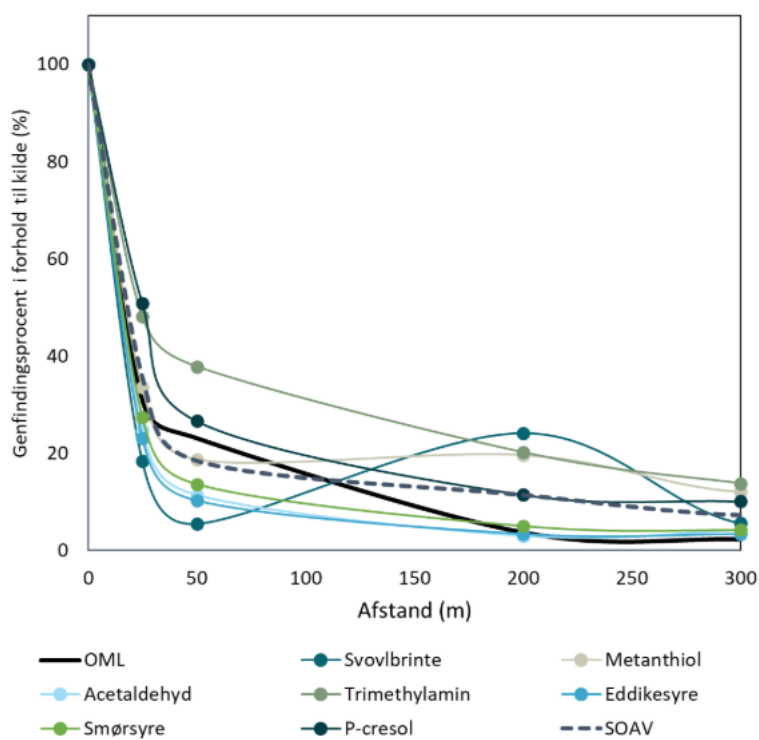
Lugtkoncentration som funktion af afstand

Genfindingen af de enkelte lugtstoffer som funktion af afstand fra staldene blev beregnet relativt til koncentrationen midt i stalden (figur 9 og 10). Overordnet aftog genfindingen med stigende afstand, men aftagelseshastigheden varierede markant mellem de forskellige stoffer.

De mest flygtige og kemisk reaktive forbindelser, såsom svovlbrinte, metanthiol og kortkædede fedtsyrer, udviste et markant fald i genfinding inden for de første hundrede meter fra staldene. P-cresol havde derimod en mere moderat nedgang og viste en relativt høj genfinding selv på de største målte afstande. Dette stemmer overens med, at p-cresol i stigende grad dominerede OAV-profilen på afstand af staldene. Lokale forøgelser i genfindingen af især svovlforbindelser i bestemte afstande omkring gyllebeholderne understøtter, at der sker en væsentlig påvirkning fra sekundære kilder.



Figur 9. Genfinding af stoffer på afstand i forhold til kilde, Stald A.



Figur 10. Genfinding af stoffer på afstand i forhold til kilde, Stald B.

Konklusion

På tværs af målingerne i og omkring de to kvægstalde kan det sammenfattes, at

- lugtsammensætningen ændres markant allerede inden for de første 25 meter fra staldene og fortsætter med at ændre sig med stigende afstand,
- p-cresol gradvist bliver mere dominerende i lugtprofilen på afstand, mens flere andre centrale lugtstoffer (svovlforbindelser og kortkædede fedtsyrer) aftager hurtigere,
- der er betydelige og systematiske forskelle i både koncentrationsniveau og kemisk sammensætning mellem gulvniveau, midterzone, kip og sideåbninger i staldene,
- sekundære kilder som gyllebeholdere har væsentlig betydning for både lugtniveau og sammensætning i bestemte afstandszoner,
- genfindingen af lugtstoffer som funktion af afstand, afspejler deres forskellige kemiske egenskaber og viser, at lugtspredning ikke kan beskrives tilstrækkeligt ved at antage lugt som en passiv, inert tracer.

Samlet set peger resultaterne på, at det nuværende OML-baserede reguleringsgrundlag, hvor lugt angives som OUE/s/DE og behandles som en samlet, inert størrelse, kun delvist beskriver den reelle lugtbelastning fra kvægbrug. En mere retvisende vurdering og regulering af lugtgener vil kræve inddragelse af stofspecifik viden om kemisk reaktivitet, persistens og deposition, en bedre beskrivelse af, hvordan staldens fysiske udformning og ventilationsforhold bestemmer den faktiske emission, samt en eksplicit håndtering af bidrag fra øvrige kilder i husdyrproduktionen.

Referencer

- [1] Steven Trabue, Kenwood Scoggin, Laura McConnell, Ronaldo Maghirang, Edna Razote, Jerry Hatfield; Identifying and tracking key odorants from cattle feedlots; Atmospheric Environment; Volume 45; Issue 25, 2011
- [2] S. M. McGinn,* H. H. Janzen & T. Coates; Atmospheric Ammonia, Volatile Fatty Acids, and Other Odorants near Beef Feedlots; Atmospheric Pollutants and Trace Gases; Technical reports; 2003
- [3] Hansen, M. J., A. P. S. Adamsen, A. Feilberg, and K. E. N. Jonassen. 2011. Stability of odorants from pig production in sampling bags for olfactometry. Journal of Environmental Quality 40 1096-1102.
- [4] Kasper, P. L. et al. 2017. Effects of Dilution Systems in Olfactometry on the Recovery of Typical Livestock Odorants Determined by PTR-MS. Sensors 17: 1859.
- [5] Kasper, P. L., A. Oxbøl, M. J. Hansen, and A. Feilberg. 2018. Mechanisms of Loss of Agricultural Odorous Compounds in Sample Bags of Nalophan, Tedlar, and PTFE. Journal of Environmental Quality 47: 246-253.
- [6] Koziel, J. A. et al. 2005. Evaluation of sample recovery of malodorous livestock gases from air sampling bags, solid-phase microextraction fibers, Tenax TA sorbent tubes, and sampling canisters. Journal of the Air & Waste Management Association 55: 1147-1157.
- [7] Trabue, S. L., J. C. Anhalt, and J. A. Zahn. 2006. Bias of Tedlar bags in the measurement of agricultural odorants. Journal of Environmental Quality 35: 1668-1677.
- [8] Hansen, M. J., K. E. N. Jonassen, and A. Feilberg. 2014. Evaluation of abatement technologies for pig houses by dynamic olfactometry and on-site mass spectrometry. Chemical Engineering Transaction 40: 253-258.
- Hansen, M., A. Adamsen, and A. Feilberg. 2013. Recovery of Odorants from an

- [9] Olfactometer Measured by Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry. Sensors 13: 7860-7861.
- [10] Hansen, M.J. & Feilberg, A. (2019): A Protocol for Chemical Measurements of Odour in Relation to Abatement Technologies for Animal Production, Version 1.0
- [11] Fuchs, A., Dalby, F.R., Liu, D., Kai, P., Feilberg, A (2021). Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid. Cleaner Engineering and Technology 4 (2021), 100263.

Deltagere

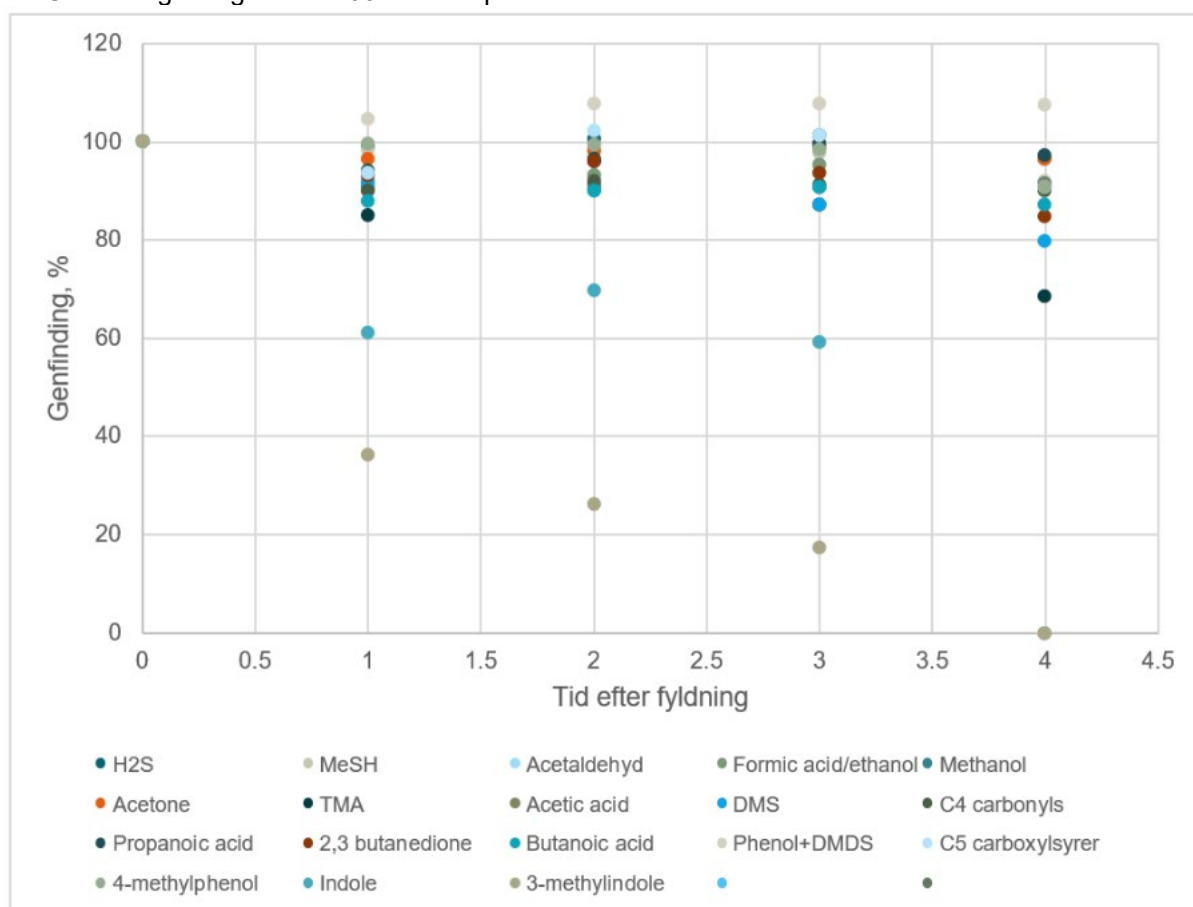
Teknikere: Nina Thue Charles, Thomas Lund Sørensen, Hans Peter Thomsen, Claus Olling Rasmussen.

Andre deltagere: Malene Jørgensen, Stine Grønborg, Anne Lindstrøm Hansen.

NAV nr.: 105078

Appendiks

B1 Genfindning af lugtstoffer i 30 L PTFE-pose



Figur B1. Genfindning af lugtstoffer i 30 L PTFE-pose som funktion af tid efter fyldning.

B2 PTR-MS-indstillinger

Tabel B1. Systemindstillinger for PTR-MS.

Parameter	Indstilling
U drift	600
U dx	0,2
T drift (°C)	80
P drift (mbar)	2,3
E/N	136