

Lugtemissionstal i husdyrproduktion: Historisk baggrund, kemiske målinger og fremtidige modeller

Emil Jakobsen, Michael Holm

SEGES Innovation P/S

STØTTET AF

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden **Mælke**afgiftsfonden

Hovedkonklusion

Notatet redegør for den historiske udvikling af lugtemissionstal i husdyrproduktionen og viser, at der er betydelige metodiske usikkerheder i de nuværende standardtal. Nyere kemiske målemetoder og beregningsmetoder, som PTR-MS og OAV, giver mulighed for mere præcise og objektive vurderinger af lugt. En fremtidig integration af disse metoder i reguleringen vil styrke proportionaliteten og sikre en mere retfærdig og videnskabeligt funderet miljøbeskyttelse.

Historisk baggrund af emissionstal for lugt

Udviklingen af lugtemissionstal i Danmark har rødder tilbage til 1980'erne, hvor Miljøstyrelsen udgav de første lugtvejledninger [1]. Her blev det fastslået at; *"Til bestemmelse af lugt findes ikke velegnede objektive fysisk-kemiske målemetoder. Vejledningen er derfor baseret på en række begreber, som er knyttet til den subjektive lugtopfattelse hos et antal personer, et lugtpanel"* [1].

Lugt blev således vurderet at være en kompleks sanseoplevelse, som ikke kunne måles direkte med kemiske målemetoder. Derfor blev olfaktometriske målinger med lugtpaneller standarden for vurderingen af lugtkoncentrationer. Lugtenheder (LE), også kaldet lugtstofenheder, blev introduceret som måleenhed, og der blev lagt immissionsgrænser mellem 5-10 LE/m³ afhængig af områdets følsomhed. Reguleringen var således baseret på, hvor meget lugt der kunne forventes at nå omgivelserne/naboen, i.e. immissionen, og ikke den direkte emission fra en skorsten.

Særligt vigtigt i sammenhængen med lugttal i relation til husdyrproduktioner, var den tyske Oldenburg rapport [2], der stadig har betydning for lugtreguleringen af husdyrbrug i Danmark i dag.

Oldenburg rapporten og dens betydning

Oldenburg rapporten, der danner grundlag for de danske FMK-lugtemissionstal, bygger på omfattende tyske undersøgelser fra 1970'erne og 1980'erne. Rapporten illustrerer, at lugtemissioner fra husdyrproduktion er komplekse og afhænger af mange faktorer såsom dyreart, fodring, staldsystem, ventilation og gødningshåndtering [2].

Af særligt vigtige resultater i sammenhæng med dens betydning for den danske regulering, bør emissionsfaktorer pr. dyreenhed (dvs. pr. kg levende vægt) for forskellige dyrearter og staldtyper nævnes. Disse tal blev, som beskrevet i afsnittet "FMK-vejledningen og dens betydning", senere overført til de danske FMK-tabeller, og danner dermed stadig grundlag for miljøgodkendelser i dag [2], [3], [4]. Foruden emissionsfaktorerne, introducerer Oldenburg-rapporten også begrebet "Geruchsschwellentfernung", der danner grundlag for det danske (lugt) geneafstand [2], [3].

Angående de anvendte målemetoder til resultater i rapporten fremhæves det, at olfaktometriske målinger med lugtpaneller var den eneste praktiske anvendte metode på daværende tidspunkt – i tråd med Miljøstyrelsens vurdering fra samme periode. Omvendt erkender rapporten, at målingerne fra studierne kun repræsenterer forhold målt i afkastet ved husdyrbesætninger, og dermed ikke tager højde for eventuelle kemiske ændringer under transport i atmosfæren.

Rent måleteknisk blev lugtmålingerne udført med ældre olfaktometre, der indeholdt glas og metaldele, som i dag er kendt for at kunne adsorbere visse lugtstoffer. Desuden var pose materialet, der blev brugt Hostaphan [2]. Ligesom Tedlar- og/eller Nalophanposer, kan det yderligere have påvirket resultaterne, idet de er påvist til at binde visse lugtstoffer (f.eks. fenoler og indoler) [5], [6], [7].

FMK-vejledningen og dens betydning

I perioden fra 1990'erne til begyndelsen af 2000'erne, blev der gjort betydelige bestræbelser på at standardisere og forbedre metoderne til vurdering af lugtemissioner fra husdyrproduktion [8], [9]. Et centralt skridt i denne udvikling var udgivelsen af Foreningen af miljømedarbejde i kommunernes (FMK) udgivelse af en vejledning ("FMK-vejledningen", 1. udgave i 1994 og 2. udgave i 2002), der introducerede et systematisk grundlag for beregning af lugt geneafstande [9]. FMK-vejledningen fastlagde genekriterier for forskellige boligområdetyper, og beskrev hvordan lugtemissioner skulle beregnes ud fra husdyrtype og staldsystem.

Emissionstabellerne/FMK-tabellerne i vejledningen er *"udarbejdet på grundlag af Oldenburg-rapporten"*, som på daværende tidspunkt repræsenterede det mest omfattende datagrundlag for lugtemissioner fra husdyrproduktion [2], [9]. Rapporten indeholdt målinger af lugt fra forskellige staldsystemer og præsenterede emissionsfaktorer pr. 1.000 kg dyrevægt. Disse værdier blev overført til danske forhold og justeret for årsmiddeltemperaturen i Danmark, samt angivet i sommerperioden hvor lugtemissionen forventedes at være størst [9].

FMK-vejledningen kombinerede de standardiserede emissionstal med en relativ simpel spredningsmodel, hvilket gjorde det muligt at fastsætte afstandskrav i miljøgodkendelser. Her henvises der specifikt til to danske feltundersøgelser fra Miljøstyrelsen og Landbrugets Rådgivningscenter, som dokumenterede, at lugtgener kunne forekomme i op til 250-300 meter fra svinestalde, hvilket understøttede behovet for regulering baseret på afstandskriterier [8], [9].

Samlet set markerede FMK-vejledningen et skifte til en mere kvantitativ og standardiseret tilgang, hvor emissionstal og spredningsberegninger blev centrale elementer i godkendelsesprocessen. Disse

principper danner stadig grundlag for den nuværende regulering, selvom de er baseret på målinger og metoder, der i dag anses som teknisk forældede [6], [10].

Emissionstal for lugt fra 2006 til i dag

I takt med stigende krav om ensartet og mere videnskabeligt funderet sagsbehandling blev der i slutningen af 2006 udarbejdet en ny faglig udredning, kendt som *"Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug"* [11], som introducerede OML-modellen (Operationelle Meteorologiske Luftforureningsmodeller) som den centrale spredningsmodel i lugtvurderinger ved husdyrbrug. OML-modellen adskiller sig fra tidligere praksis ved at tage højde for lokale meteorologiske forhold, såsom vindretning, atmosfærisk stabilitet og terrænuhed, samt den konkrete kildegeometri [11]. Dermed kan man beregne immissionsniveauer og geneafstande langt mere præcist og situationsbestemt end med spredningsmodellen anvendt fra FMK-vejledningen.

Efter implementeringen af OML-modellen fra begyndelsen af 2007 til brug ifm. lugtemissioner ved miljøgodkendelser af husdyrproduktion [11], [12], har reguleringen af lugt været baseret på de samme standardiserede emissionstal fra både miljøstyrelsens model og FMK-modellen lige siden – dvs. dobbeltreguleret [3]. Ift. lugtprøverne og målemetoderne der ligger til grund for miljøstyrelsens model, var der tale om data baseret på *Meddelelse Nr. 742* [13] fra Videncenter for svineproduktion, der i målingerne anvendte Tedlarposer.

Af nævneværdige ændringer i lovgivningen/husdyrreguleringen, blev der i 2017 indført en ændring i beregningsgrundlaget for lugtemissioner i forbindelse med overgangen til arealbaseret husdyrregulering. *Kai og Adamsen* udarbejdede en rapport, der evaluerede muligheden for at skifte fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning for både ammoniak og lugt [4]. Derfor er de oprindelige emissionstal baseret pr. dyrevægt omregnet til pr. m² produktionsareal ifm. regulering.

Metodiske udfordringer ved olfaktometri

Som angivet i den historiske gennemgang af emissionstal for lugt, har dynamisk olfaktometri i årtier været den standardiserede metode til måling af lugt i henhold til EN 13725 [14]. Metoden bygger på, at et panel af mennesker bedømmer lugtkoncentrationer i fortyndede luftprøver, hvilket giver et resultat udtrykt i lugtenheder pr. kubikmeter (OU_E/m³). Selvom metoden er anerkendt som officiel standard, er den behæftet med betydelige metodiske svagheder, der har konsekvenser for både målenøjagtighed og regulering [15], [16].

En grundlæggende udfordring ved dynamisk olfaktometri, er den manglende reproducerbarhed og subjektivitet i panelmålinger [17], [18]. Lugt er en sanseoplevelse, og bedømmelsen påvirkes af faktorer som paneltræthed og individuelle tærskler. Dette gør det vanskeligt at opnå konsistente resultater, hvilket udgør en udfordring når målingerne skal danne grundlag for standardiserede emissionstal og beregning af geneafstande. Nyere protokoller fremhæver, at olfaktometri har begrænset præcision sammenlignet med kemiske metoder, hvilket har været en drivkraft for udviklingen af alternative måleteknologier [17].

De tekniske begrænsninger ved selve olfaktometrene har forstærket problemet. Ældre modeller som TO4 og TO6, der blev anvendt i de klassiske tyske og danske undersøgelser, var fremstillet med glas og metaldele, som kunne adsorbere lugtstoffer og dermed ændre lugtprøvens sammensætning [2], [9], [19], [20]. Disse instrumenter havde desuden manuel styring af fortyndingsniveauer, hvilket øgede usikkerheden i målingerne. Moderne olfaktometre er teflonbelagte og automatiserede, hvilket reducerer adsorption og forbedrer betjeningspræcision, men på trods af dette kan olfaktometer design og operation stadig påvirke hvilke komponenter, der når frem til panelisten [20].

Udfordringer med posematerialer og prøveopbevaring

En anden væsentlig kilde til usikkerhed er opbevaring af lugtprøver i poser. Historisk blev Tedlar- og Nalophanposer anvendt. Disse poser har vist sig i visse tilfælde at tilføre baggrundslugt, og binde kritiske lugtstoffer som carboxylsyrer, fenoler og indoler. Den nuværende anbefaling er at anvende PTFE (teflon) poser, som har minimal adsorption og ingen baggrundslugt, men denne praksis er først indført i de seneste år, og har ikke været gældende for de historiske data, der ligger til grund for FMK- og OML-modellerne [5], [21].

Samlet konsekvens for regulering og modeludvikling

Samlet set betyder disse metodiske svagheder, at de emissionstal, som stadig anvendes i reguleringen, er baseret på historiske målinger med betydelig usikkerhed.

En væsentlig udfordring ved olfaktometriske målinger er desuden, at resultaterne kan fejlfortolkes både på grund af selve måleprincippet og de materialer, der bruges til opbevaring af prøverne. Når prøver opbevares i forskellige posetyper, kan visse lugtstoffer bindes til posens materiale eller tilføres baggrundslugt, hvilket betyder, at de reelle koncentrationer af de mest kritiske lugtkomponenter ikke nødvendigvis afspejles korrekt i målingen. Samtidig gør den subjektive vurdering i panelmålingerne det svært at identificere, hvilke stoffer der bidrager mest til den oplevede lugt.

Dette skaber en grundlæggende usikkerhed for udviklere og leverandører af lugtreduktionsteknologier. Hvis ikke en teknologileverandør præcist ved, hvilke stoffer rensningen skal målrettes imod, bliver det svært at optimere teknologien til effektivt at nedbringe den samlede lugt.

Risikoen er enten, at en teknologi fejlagtigt vurderes mere effektiv, end den reelt er, eller at vigtige lugtkomponenter ikke fanges af den anvendte målemetode. Derfor er det afgørende med mere præcise og objektivt baserede målemetoder, så teknologierne kan udvikles og dokumenteres på et solidt grundlag.

Udfordringerne understreger behovet for en mere objektiv og reproducerbar metode, hvilket har ført til industriel og forskningsorienteret interesse mod kemiske målinger som grundlag for fremtidige lugtemissionstal og modeller [17].

Den teknologiske udvikling af lugtmålinger

Fra omkring 2010 opstod der stigende tvivl om de daværende målemetoders validitet [19], [20], [22]. Årsagen var, at nyere olfaktometriske målinger, udført med forbedrede metoder, og ændring fra Tedlar til Nalophanposer viste lavere lugtkoncentrationer end de historiske standardtal, der lå til grund for FMK- og OML-modellerne [10].

Samtidig blev det klart, at de historiske data var behæftet med metodiske svagheder, herunder tab af lugtstoffer under opbevaring i poser og begrænset reproducerbarhed i panelmålinger. Som reaktion på disse udfordringer begyndte bl.a. Aarhus Universitet og SEGES Innovation at udvikle og anvende kemiske målemetoder til dokumentation af lugt, især i forbindelse med test af miljøteknologier. Den mest markante teknologiske udvikling var introduktionen af Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry (PTR-MS), som muliggør realtidsmålinger af en lang række lugtstoffer direkte i staldmiljøet [23]. Metoden giver et detaljeret billede af lugtens kemiske sammensætning, og har vist sig at være mere reproducerbar end olfaktometri [6], [10].

Kemiske målinger og modeller

Overgangen fra olfaktometri til kemiske målemetoder er drevet af behovet for mere objektive, reproducerbare og detaljerede data om lugtemissioner. Hvor olfaktometri baserer sig på menneskelig sansevurdering, giver kemiske metoder mulighed for at kvantificere de enkelte lugtstoffer og deres relative betydning for den samlede lugtoplevelse [17]. Denne udvikling er især relevant i husdyrproduktionen, hvor lugt består af en kompleks blanding af mange forskellige kemiske forbindelser, og hvor reguleringen hidtil har været baseret på et enkelt subjektivt vurderet tal uden hensyntagen til sammensætningen. Til vurdering af miljøteknologiers renseeffektivitet for lugt fra husdyrproduktion, er det ligeledes vigtigt at kunne måle præcis hvilke lugtstoffer der bør reduceres, så miljøteknologien kan udvikles til at rense for netop de stoffer, der kan være til gene.

Kemiske målinger minimerer svagheder, som tab af lugtstoffer og variation i panelbedømmelse, ved at anvende instrumentelle analyser, som kan udføres både online og i laboratoriet. Dette giver mulighed for at dokumentere effekten af miljøteknologier og udvikle modeller, der kan forudsige lugtkoncentrationer mere præcist end traditionelle olfaktometriske metoder [10].

Teknologier og metoder

Kemiske målinger af lugt kan udføres enten som laboratoriebaserede analyser af opsamlede prøver eller som online-målinger direkte i staldmiljøet. Begge tilgange har fordele og begrænsninger, og valget afhænger af formålet med målingen.

Laboratoriebaserede metoder (poseprøver til GC eller PTR-MS)

Laboratoriemetoder anvender opsamlede luftprøver, som typisk opbevares i poser, før de analyseres med instrumentelle teknikker. Historisk blev Tedlar- og Nalophanposer anvendt, nyere protokoller anbefaler derfor PTFE (teflon) poser, som har minimal adsorption og ingen baggrundslugt, hvilket sikrer mere retvisende analyser [10].

De mest anvendte laboratoriemetoder er:

- Gaskromatografi med massespektrometri (GC-MS): Velegnet til dybdegående karakterisering af enkeltstoffer.
- Gaskromatografi med svovlspecifikke detektorer: Bruges til at måle forbindelser som H_2S og mercaptaner, der har stor betydning for lugtoplevelsen.
- PTR-MS (laboratorie): Prøver udtages i poser og analyseres indenfor 24 timer, hvilket giver mulighed for at måle mange forbindelser hurtigt, men med risiko for tab af stoffer under opbevaring. Der udføres henfaldstest for at tage højde for tab af stoffer frem til analysetidspunkt.

Fordelen ved laboratoriemetoder er høj præcision og mulighed for detaljeret kemisk profilering. Ulempen er, at prøverne kan ændre sig under opbevaring, og at metoden ikke giver realtidsdata. I version 2 af den gældende protokol for kemiske lugtmålinger af miljøteknologier til husdyrproduktion beskrives de konkrete krav til metoderne [10].

Online-målinger med PTR-MS

Den mest anvendte teknologi til online-måling af lugtemissioner fra husdyr i Danmark er PTR-MS, som muliggør realtidsmålinger af en lang række flygtige organiske forbindelser direkte i luften fra f.eks. staldmiljøet. PTR-MS har den fordel, at det kan registrere koncentrationer af nøglekomponenter som svovlforbindelser, fenoler og indoler uden behov for prøveopbevaring, hvilket reducerer risikoen for tab af stoffer. Metoden anvendes i dag i forskningsprojekter, herunder ved test af lugt-reducerende teknologier, hvor den giver et detaljeret billede af lugtens kemiske profil [6], [10].

Fordele ved online PTR-MS:

- Realtime data: Giver mulighed for at følge variationer i lugtemissioner over tid.

- Høj reproducerbarhed: Eliminere usikkerheder forbundet med panelmålinger og prøveopbevaring.
- Velegnet til modeludvikling: Data kan anvendes til multivariate modeller, der forudsiger lugtkoncentrationer med høj præcision.

Den største ulempe er, at instrumentet er dyrt, følsomt overfor transport, og kræver specialiseret betjening.

Modeller – Omsætning af kemiske målinger til ét lugttal

En af de største udfordringer ved en eventuel overgang fra olfaktometri til kemiske målinger i regulering af husdyrbrug er at omsætte en kompleks kemisk profil til ét samlet lugttal, der kan anvendes i reguleringen. Lugt er ikke et enkelt stof, men en blanding af mange flygtige organiske forbindelser med vidt forskellige lugttærskler og sensoriske egenskaber. Derfor kræver beregningen af et samlet lugttal en metode, der kan vægte stoffernes individuelle bidrag til den oplevede lugt.

Den mest anvendte tilgang i dag er SOAV-metoden (Sum of Odor Activity Values). SOAV beregnes ved at summere de enkelte stoffers lugtaktivitet OAV (Odor Activity Value), som er forholdet mellem stoffets koncentration og dets lugttærskel (odor threshold value/OTV). Lugttærsklen er defineret som den laveste koncentration af et lugtstof, der kan opfattes som lugt af et menneskeligt panel [10]. SOAV-metoden giver altså et teoretisk mål for den samlede lugtstyrke, og anvendes i danske forskningsprojekter som alternativ til panelmålinger, især i forbindelse med dokumentation af miljøteknologier. Fordelen ved SOAV er, at den bygger på objektive kemiske data. Ulempen er, at metoden forudsætter kendskab til lugttærskler for alle relevante stoffer som er baseret på olfaktometri, hvilket kan være vanskeligt for komplekse blandinger med mange komponenter.

En anden tilgang er brugen af multivariate statistiske modeller, som kan forudsige lugtkoncentrationer ud fra kemiske målinger. Et dansk studie har vist, at en PLS-regressionsmodel baseret på PTR-MS-data kan forklare op til 74 % af variationen i lugtkoncentration, når modellen trænes på samtidige olfaktometriske målinger [6]. Der er dog meget få studier at sammenligne denne metode med [6].

Et igangværende studie fra Aarhus Universitet [24] og SEGES Innovation [25] vil undersøge hvilke kemiske lugtstoffer fra grisestaldenes afkast, der kan detekteres på afstand. Resultaterne fra disse projekter bør indgå i en modellering af de kemiske målinger til et lugttal, da de vil give indsigt i geneafstande baseret på kemiske lugtstoffer, som reelt har betydning hos naboerne.

Perspektiver for fremtidig modeludvikling

Baseret på gennemgangen af den litteratur, der ligger til grund for de nuværende lugttal, samt de nævnte forsøg på at omsætte kemiske målinger til lugttal, diskuteres og perspektiveres i det følgende, hvordan en fremtidig regulering kunne integrere de kemiske målinger.

OAV som teknologifremmende værktøj

OAV-metoden, som specifikt er beskrevet i metodikker for kemiske lugtmålinger af miljøteknologier [10], tjener som et direkte middel til at sætte objektive *vilkår* i miljøgodkendelser.

Ved at identificere de specifikke kemiske kilder til lugt kan reguleringen målrettes. Det betyder f.eks., at en miljøgodkendelse kan indeholde krav, der definerer præcise reduktionsmål for masseemissionen af f.eks. svovlbrinte, p-cresol eller smørsyre. Dette skaber et klart markedssignal for teknologiudbydere, idet løsninger, der kan dokumentere fjernelse af disse højpotente OAV-stoffer, opnår regulatorisk validering. Denne evne til at kvantificere performance er nødvendig for at sikre, at nye staldsystemer,

herunder dem, der er etableret med henblik på dyrevelfærd, kan opnå godkendelse med verificerbare emissionsfaktorer [24].

Integrering af OAV i Atmosfærisk Spredningsmodellering (OML-OAV Hybrid)

Den mest vidtrækkende videnskabelige konsekvens af at anvende OAV regulatorisk, er muligheden for at revidere OML-spredningsmodellens antagelser vedrørende transport af lugtstoffer.

Den traditionelle OML-model antager, at lugtstoffer kun påvirkes af fysisk fortynding og spredning over afstand. Dette er en robust tilgang for inerte luftforurenende stoffer, men det ignorerer de kemiske processer i atmosfæren. Mange af de Volatile Organic Compounds (VOC'er), der udgør landbrugslugt (f.eks. aldehyder, fenoler), er reaktive og undergår fotokemisk nedbrydning eller oxidation, når de udsendes til luften. Hypotesen, der driver den igangværende danske forskning, er netop, at *"en række lugtstoffer ikke bevares over større afstande fra stalde med husdyr"* [24]. Hvis lugtstofferne kemisk nedbrydes, overvurderer den nuværende OML-model uden transformationsmekanismer lugtpåvirkningens afstand og intensitet (*geneafstand*). Disse hypoteser testes ved SEGES Innovation i projekterne "Bestemmelse af emission og spredning af lugt fra kvægstalde" og "Emissionstal for nye systemer med dyrevelfærd" i samarbejde med Aarhus Universitet og Teknologisk Institut med støtte fra hhv. Mælkeafgiftsfonden (MAF) og Svineafgiftsfonden (SAF).

En fremtidig OML-model, som inkorporerer OAV-data, vil da fungere som en OML-OAV-hybrid. Denne model vil sandsynligvis kræve OAV-afledte emissionsfaktorer som input og f.eks. inkludere en integreret førsteordens nedbrydningskonstant, altså en form for eksponentielt henfald, for de reaktive OAV-drivende forbindelser under sprednings-processen. Dette skridt vil i så fald repræsentere en fundamental transformation af lugtregulering i Danmark, hvor lugt behandles videnskabeligt som et reaktivt luftforurenende stof, ligesom kvælstofoxider (NO_x), og ikke blot som et inert fortyndingsproblem.

Integrering af OAV i fx OML-modellen er dog blot et fagligt scenarie og forskellige fordele / ulemper ved flere scenarier bør naturligvis diskuteres åbent med eksperter og myndigheder eventuelle ændringer af reguleringen.

Opsamling og konklusion

En dansk indsats for at etablere nye lugtstandarder i husdyrproduktionen, vil repræsentere et videnskabeligt og regulatorisk skridt fremad. Ved at anvende avancerede analytiske kemiske metoder (PTR-MS) og den matematiske OAV-model/metode, adresseres de fundamentale usikkerheder, der har præget den traditionelle, olfaktometri-baserede regulering.

En langsigtet, men konkret strategisk udvikling er integrationen af OAV-modellen i OML. Dette vil tillade reguleringsmyndighederne at bevæge sig væk fra at behandle lugt som et passivt stof, der kun fortyndes, til at anerkende det som en kemisk reaktiv blanding.

Resultaterne fra de igangværende forskningsprojekter hos Aarhus Universitet og SEGES Innovation vil direkte indikere, hvordan atmosfærisk transformation af de lugtaktive stoffer (f.eks. svovlbrinte, p-Cresol, og smørsyre) skal modelleres.

Ved at inkorporere empiriske nedbrydningsdata i OML-modellen, vil Danmark kunne definere en geneafstand, der er mere præcis og retvisende for den faktiske lugtbyrde i omgivelserne, hvilket sikrer en mere retfærdig og videnskabeligt funderet miljøbeskyttelse. Dette skaber ikke blot et klarere administrationsgrundlag for kommunerne, men også et stærkere grundlag for innovation i landbrugssektoren.

Referencer

- [1] Miljøstyrelsen, *Begrænsning af lugtgener fra virksomheder*. 1985.
- [2] J. Oldenburg, "Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung.", *Landtechnik*, bd. 44, 1989, Set: 20. november 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735a6953aa8c896307f51f>
- [3] Ministeriet for Grøn Trepert, *Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug*, bd. BEK nr 1089 af 16/10/2024. 2024. Set: 20. november 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2024/1089>
- [4] P. Kai og A. P. Adamsen, "Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning. Del 2: Emissionsfaktorer", *Tech. Rep. Biol. Chem. Eng.*, bd. 6, nr. 12, jan. 2017, doi: 10.7146/bce.v6i12.25214.
- [5] P. L. Kasper, A. Oxbøl, M. J. Hansen, og A. Feilberg, "Mechanisms of Loss of Agricultural Odorous Compounds in Sample Bags of Nalophan, Tedlar, and PTFE", *J. Environ. Qual.*, bd. 47, nr. 2, s. 246–253, 2018, doi: 10.2134/jeq2017.07.0289.
- [6] M. J. Hansen, K. E. N. Jonassen, M. M. Løkke, A. P. S. Adamsen, og A. Feilberg, "Multivariate prediction of odor from pig production based on in-situ measurement of odorants", *Atmos. Environ.*, bd. 135, s. 50–58, jun. 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.03.060.
- [7] Y. Pei *m.fl.*, "Investigation of odor emissions from coating products: Key factors and key odorants", *Front. Environ. Sci.*, bd. 10, okt. 2022, doi: 10.3389/fenvs.2022.1039842.
- [8] "Lugtgener fra Svinestalde - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen". Set: 29. november 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1987/87-7909-864-9/pdf/87-7909-864-9.pdf>
- [9] "Vejledende retningslinier for vurdering af lugt og begrænsning af gener fra stalde, version 2". FMK - FORENINGEN AF MILJØMEDARBEJDERE I KOMMUNERNE, 2002.
- [10] M. J. Hansen og A. Feilberg, "A protocol for chemical measurement of odor in relation to abatement technologies for animal production – Version 2", bd. 2022, sep. 2022.
- [11] Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, "Faglig rapport vedrørende en ny lugtvejledning for husdyrbrug". Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, 2006.
- [12] 149807@au.dk, "OML til husdyrbrug". Set: 30. november 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://envs.au.dk/om-instituttet-1/faglige-omraader/luftforurening-udledninger-og-effekter/overvaagningsprogrammet/luftforureningsmodeller/oml/oml-til-husdyrbrug>
- [13] A. L. Riis, "Standardtal for lugtemission fra danske svinestalde om sommeren". Set: 12. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2006/742.aspx
- [14] "DS/EN 13725:2022 Dansk Standard". Set: 2. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://webshop.ds.dk/standard/M332630/ds-en-13725-2022>
- [15] C. J. Clanton *m.fl.*, "Dynamic olfactometry variability in determining odor dilutions-to-threshold", *Trans. ASAE*, 1999, Set: 3. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65de58050f3e94b9e5cdeb8b>
- [16] J. V. Klarenbeek, N. W. M. Ogink, og H. van der Voet, "Odor measurements according to EN 13725: A statistical analysis of variance components", *Atmos. Environ.*, bd. 86, s. 9–15, apr. 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.12.032.
- [17] M. J. Hansen og A. Feilberg, "A protocol for chemical measurement of odour in relation to abatement technologies for animal production", Report, mar. 2019.
- [18] K. Jonassen, P. Pedersen, A. Riis, og K. Sørensen, "Does the Choice of Olfactometric Laboratory Affect the Efficiency of Odour Abatement Technologies?", *Chem. Eng. Trans.*, bd. 30, s. 43–48, sep. 2012, doi: 10.3303/CET1230008.
- [19] M. J. Hansen, A. Feilberg, og A. Adamsen, "Stability of Volatile Reduced Sulphur Compounds in the Dilution System of an Olfactometer", *Chem. Eng. Trans.*, bd. 23, s. 67–72, 2011, doi: 10.3303/CET1123012.

- [20] M. J. Hansen, A. P. S. Adamsen, og A. Feilberg, "Recovery of Odorants from an Olfactometer Measured by Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry", *Sensors*, bd. 13, nr. 6, s. 7860–7871, jun. 2013, doi: 10.3390/s130607860.
- [21] M. J. Hansen, A. P. S. Adamsen, A. Feilberg, og K. E. N. Jonassen, "Stability of Odorants from Pig Production in Sampling Bags for Olfactometry", *J. Environ. Qual.*, bd. 40, nr. 4, s. 1096–1102, 2011, doi: 10.2134/jeq2010.0497.
- [22] P. Mochalski, B. Wzorek, I. Śliwka, og A. Amann, "Suitability of different polymer bags for storage of volatile sulphur compounds relevant to breath analysis", *J. Chromatogr. B*, bd. 877, nr. 3, s. 189–196, jan. 2009, doi: 10.1016/j.jchromb.2008.12.003.
- [23] "Agriculture and Livestock". Set: 3. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://www.ionicon.com/case-studies/details/agriculture-and-livestock>
- [24] "Ny metode til regulering af lugt fra grisestalde", Aarhus University. Set: 3. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://pure.au.dk/portal/en/projects/ny-metode-til-regulering-af-lugt-fra-grisestalde/>
- [25] P. Brandt, M. Holm, M. J. Hansen, og P. L. Kasper, "Emissionstal for nye systemer med dyrevelfærd", Emissionstal for nye systemer med dyrevelfærd. Set: 15. december 2025. [Online]. Tilgængelig hos: <https://projekt.seges.dk/svineafgiftsfonden/svineafgiftsfonden-2024/101984>

Deltagere

Statistikere: Søren Kjærgaard Boldsen, Mai Britt Friis Nielsen
Andre deltagere: Pia Brandt

Afprøvning nr. 2015
BC nr.: 101265

//LATO//

Dyregruppe: Grise, Kvæg, Husdyr
Fagområde: Miljøteknologi
Nøgleord: Lugt, Husdyrregulering, SOAV