

Spildevand, affald og slam –

identificering og kvantificering af eksponering for biologiske agenser,
risikovurdering og arbejdsbetingede helbredsrisici



Formål

Hovedformål:

- At opnå viden om eksponering for biologiske agenser,
- At identificere mulige risici, som agenserne udgør for medarbejdernes helbred,
- At danne grundlag til vurdering af, om forebyggende tiltag til reducere af eksponering er nødvendige, og hvor disse tiltag bør målrettes.

Delmål:

At opnå viden om arbejde på rensningsanlæg, som skraldemand og i kloakservice vedr.:

1. Eksponering for biologiske agenser
2. Identificering af arbejde med særlig risiko for eksponering
3. Risikovurdering af eksponeringerne
4. Sammenhæng imellem eksponering og mål for helbred
5. Formidle resultaterne til interessenter

Et fokus på: Artsidentifikationer.

Spildevand, affald og slam

Spildevand

- Lu, M.W. Frederiksen, K. Uhrbrand, Y. Li, C. Østergaard, A.M. Madsen, E. Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure, J Ecotoxicology, 205 (2020)
- A.M. Madsen, K. Uhrbrand, V.C. Kofoed, T.K. Fischer, M.W. Frederiksen, A cohort study of wastewater treatment plant workers: association between levels of biomarkers of systemic inflammation and exposure to bacteria and fungi, and endotoxin as measured using two methods, Water Research (2023)
- S.A. Møller, M.W. Frederiksen, P.U. Rasmussen, S.K. Østergaard, J.L. Nielsen, A.M. Madsen, Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers, Journal of Hazardous Materials (2025).

Affald

- A.M. Madsen, M. Raulf, P. Duquenne, P. Graff, M. Cyprowski, A. Beswick, S. Laitinen, P.U. Rasmussen, M. Hinker, A. Kolk, R.L. Górný, A. Oppliger, B. Crook, Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes, Science of The Total Environment, 791 (2021) 148287.
- A.M. Madsen, P.U. Rasmussen, M.W. Frederiksen, Accumulation of microorganisms on work clothes of workers collecting different types of waste—A feasibility study, Waste Management, 139 (2022) 250-257
- L Vermaere, MS Delsuz, P Hoet, Madsen: Self-reported health symptoms among waste collectors and association with occupational exposure

Slam

- SA Møller, M W Frederiksen, PU Rasmussen, A Muthalagu, VC Kofoed, AM Madsen Occupational exposure to microorganisms for operators of jet-vac trucks



Spildevand

Hjördís Birna Árnadóttir og Anne Mette Madsen (2025). Karakterisering af bioaerosol-eksponering ved forskellige arbejdsopgaver hos medarbejdere på rensningsanlæg. Spildevand.

Madsen (2023). Et kohortestudie af eksponering for mikroorganismer og endotoksin på et rensningsanlæg og inflammation. Miljø og sundhed 29 (3), 15-20

Madsen, AM (2023). Påvirkning af ansatte på et rensningsanlæg for endotoksin. Spildevand (2023), 12-13

Madsen, AM, Andrup, L (2022). Bedre hygiejne og mindre bekymring for smitte på renseanlæg i løbet af corona-epidemien. Spildevand 1 (2022), 59-60

Madsen, AM, Rasmussen, PU (2021). Arbejds miljø på rensningsanlæg under corona-pandemi. Spildevand 1, 63

Madsen AM, Rasmussen PU, Graff P (2021). Udsættelse for mikroorganismer og ændret arbejdsgang under corona-epidemien. Spildevand 1 (2021), 61-62

Madsen AM (2020) Første resultater af NFA-undersøgelse offentliggøres. Spildevand 4 (2020), 6

Affald

PEROSH hjemmeside: Review of biological risks associated with the collection of municipal wastes.

<https://perosh.eu/repository/review-collection-of-municipal-wastes/>

PEROSH joint research project: The biological working environment of waste collection workers.

<https://perosh.eu/news/perosh-joint-research-project-the-biological-working-environment-of-waste-collection-workers/>

Arbejde med affald og det biologiske arbejdsmiljø. Faktaark 09-20-2023

Feltmålinger og laboratorie analyser på tværs af studier

På arbejdspladserne



Sampling

- Personbåren GSP sampler
- Stationær i arbejdsområder
- Stationær reference udendørs
- Partikel-tæller
- Håndhygiejne
- Tøjhygiejne

Helbred

- Blodprøver
- Spørgeskema om helbred

I laboratoriet

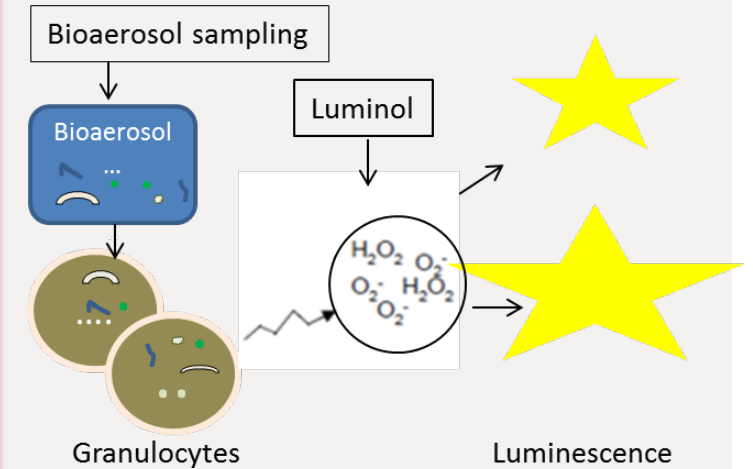


Karakterisering af eksponering

- Støv
- Svampe – kvantitative + arter
- Svampe37
- Bakterier
- Anaerobe bakterier eller tarmbakterier
- MALDI-TOF/NGS
- Endotoksin
- Inflammatorisk potentiale
- Fungicidresistens

Blodprøve

- Inflammationsmarkører



Arbejdsmiljø på rensningsanlæg

Eksponering for bioaerosoler på et rensningsanlæg igennem 12 måneder

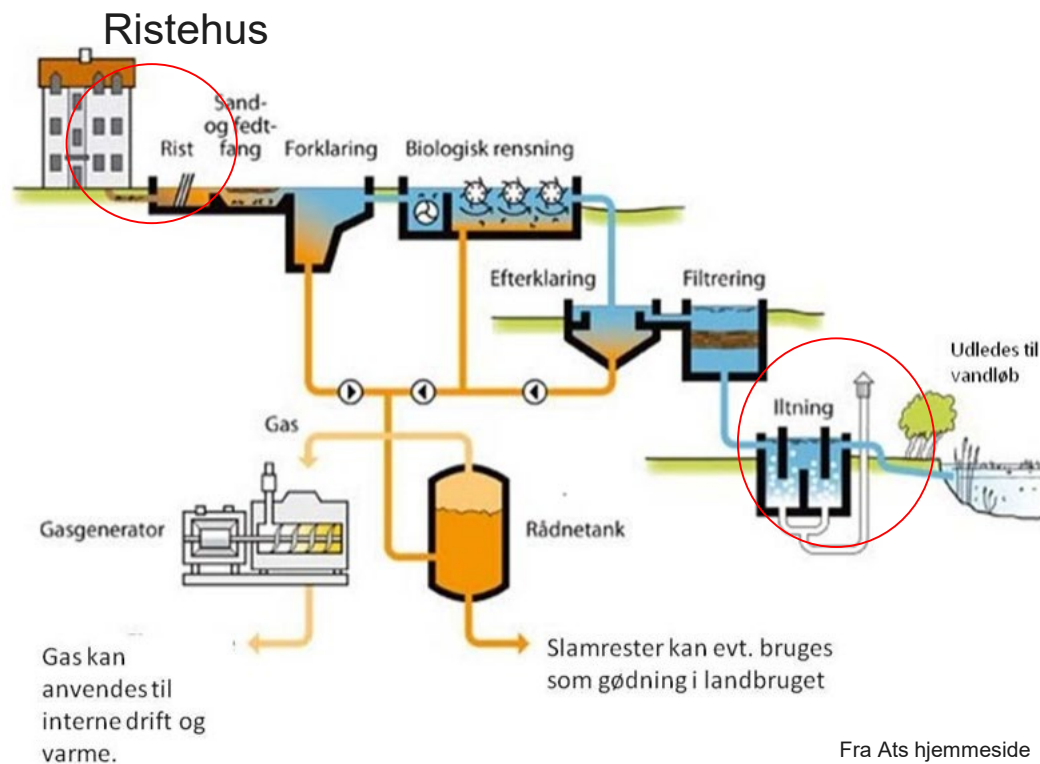
16 sagde ja, til at deltage, de blev til 14 og så til 13 personer, som vi fulgte igennem et år

14 Medarbejder målt på op til 12 gange (onsdag) igennem 1 år:

- 11 mænd og 3 kvinder
- 24 til 65 år (gns 45 år)
- Stationære mål: Ristehus og beluftningstank



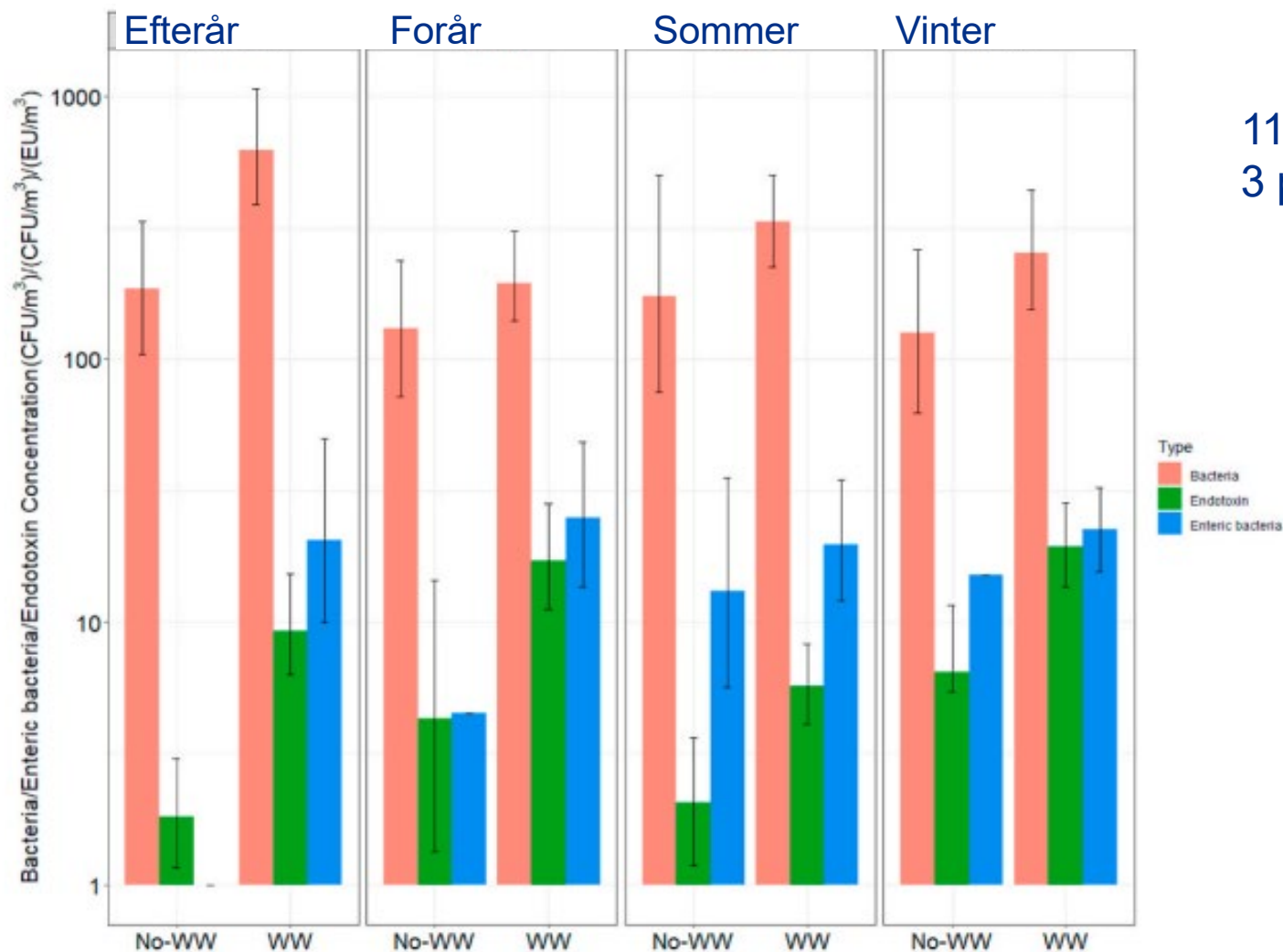
Rensningsanlæg



Typiske arbejdsopgaver

- overvågning af renseprocesser, runderer, kontor
- analyser af spildevand og slam, - laborant
- reparation og vedligeholdelse af anlæg og processer –smede

Eksposering for bakterier og endotoksin igennem 1 år



11 personer ude på anlægget
3 personer mest kontor

Bakterier: 200-5900 CFU/m³ CFU/m³ (GM= 589 CFU/m³), højst efterår

Endotoksin: 0.2-707 EU/m³ (GM=10 EU/m³), højst vinter

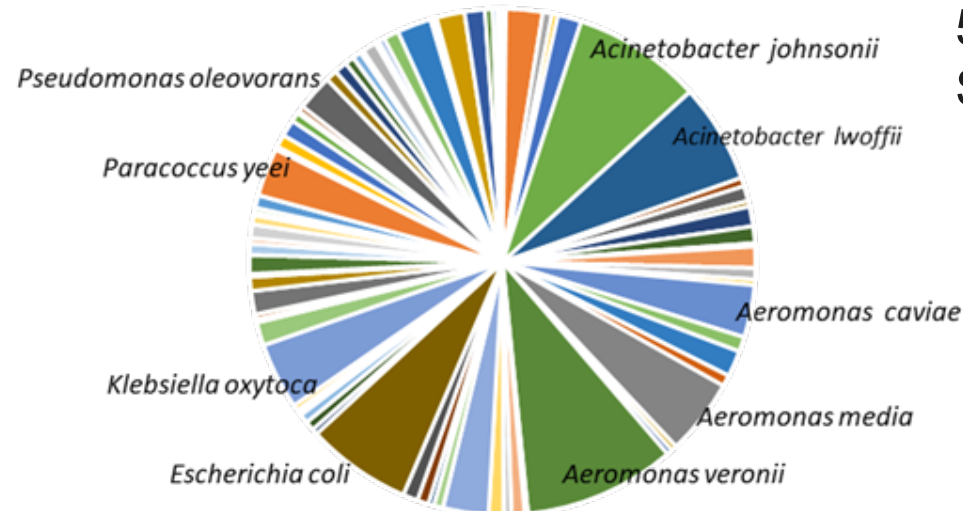
Eksponering for bakterier

Bakterier:

589 cfu/m³ (12-1.2x10⁵)

Signifikant forskel mellem personer

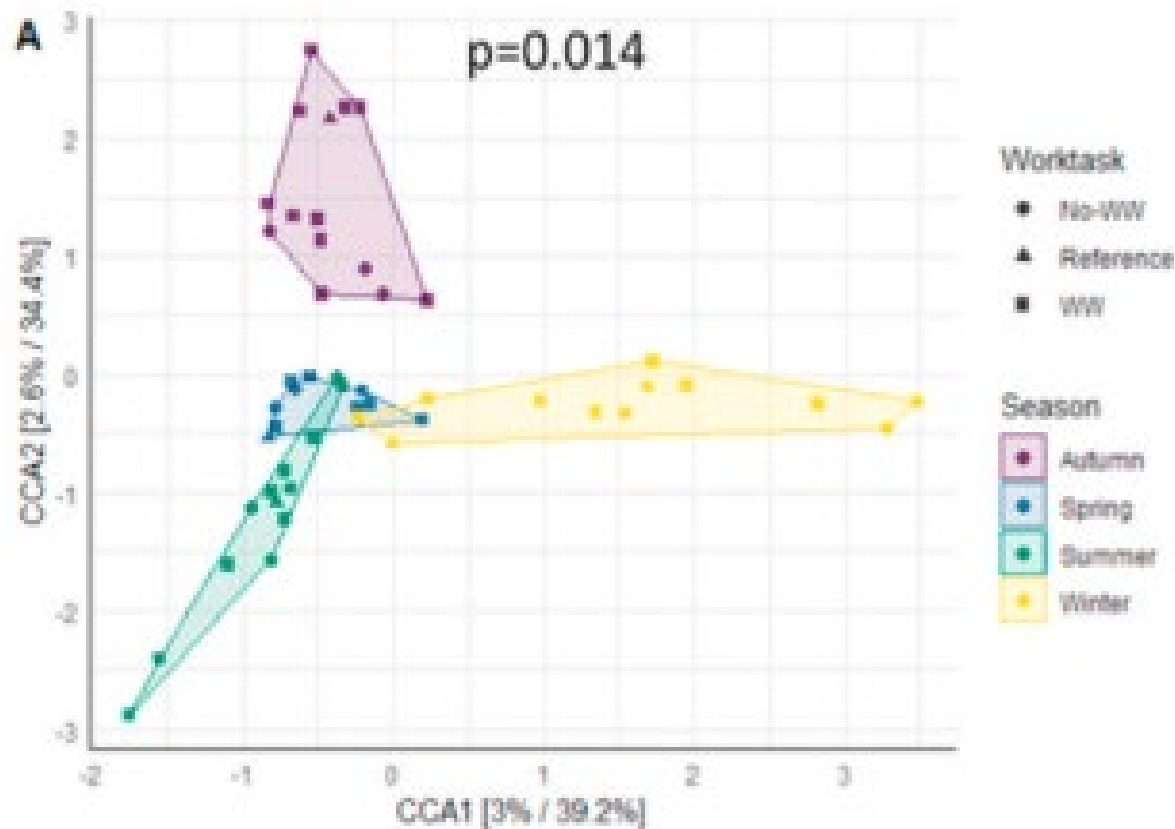
Gram-negative bacteria



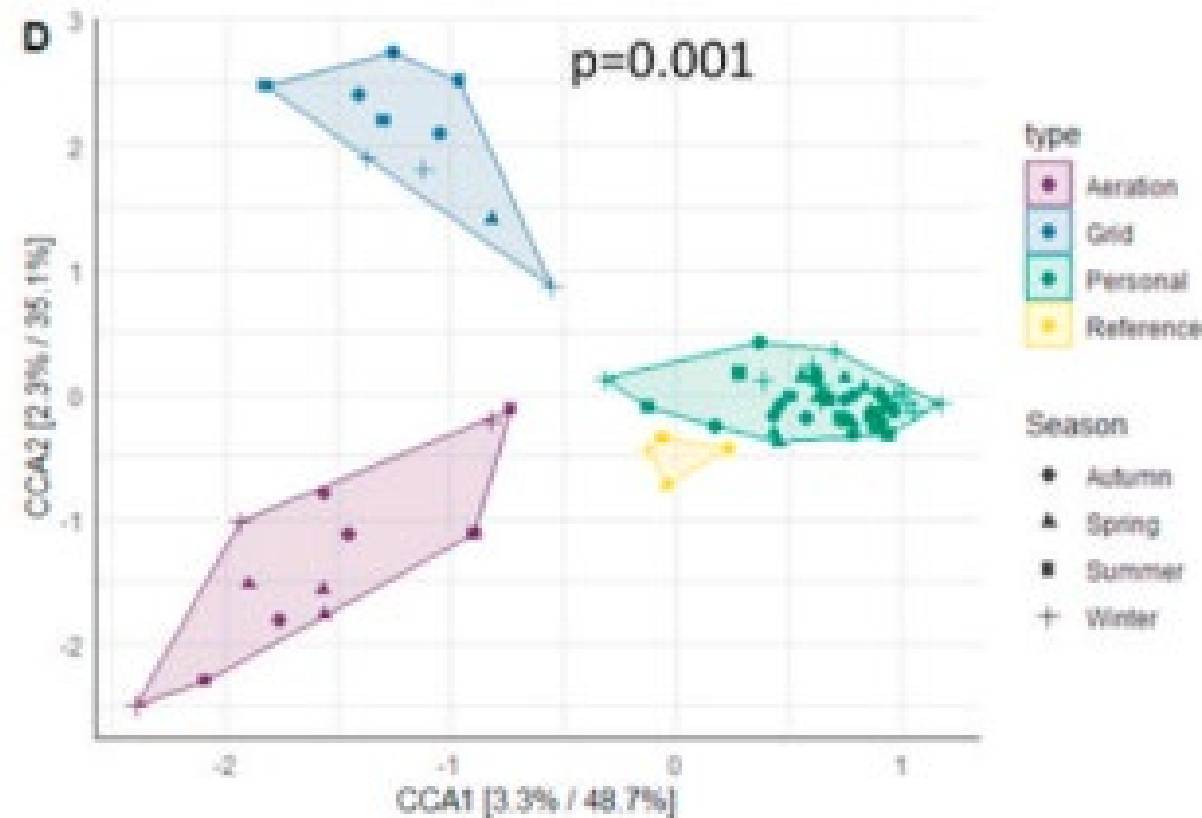
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	<i>Acidovorax defluvi</i>	<i>Acidovorax temperans</i>	<i>Acinetobacter baumannii</i>	<i>Acinetobacter guillouiae</i>
<i>Acinetobacter johnsonii</i>	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	<i>Acinetobacter junii</i>	<i>Acinetobacter parvus</i>	<i>Acinetobacter pittii</i>
<i>Acinetobacter radioresistens</i>	<i>Acinetobacter schindleri</i>	<i>Acinetobacter spp.</i>	<i>Acinetobacter towneri</i>	<i>Acinetobacter ursingii</i>
<i>Aeromonas bestiarum</i>	<i>Aeromonas caviae</i>	<i>Aeromonas eucrenophila</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Aeromonas jandaei</i>
<i>Aeromonas media</i>	<i>Aeromonas salmonicida</i>	<i>Aeromonas sobria</i>	<i>Aeromonas veronii</i>	<i>Balneatrix alpica</i>
<i>Brevundimonas vesicularis</i>	<i>Brevundimonas diminuta</i>	<i>Citrobacter braakii</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Cytlitrophicus cytlitrophicus</i>
<i>Enterobacter amnigenus</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Enterobacter kobei</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia hermannii</i>
<i>Flavobacterium hibernum</i>	<i>Flavobacterium saccharophilum</i>	<i>Gordonia terrae</i>	<i>Haematobacter massiliensis</i>	<i>Hafnia alvei</i>
<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Klebsiella variicola</i>	<i>Massilia spp.</i>	<i>Massilia timonae</i>
<i>Methylobacterium terreus</i>	<i>Methylobacterium extorquens</i>	<i>Moraxella spp.</i>	<i>Morganella morganii</i>	<i>Neisseria meningitidis</i>
<i>Ochrobactrum spp.</i>	<i>Ochrobactrum tritici</i>	<i>Pantoea septica</i>	<i>Pantoea agglomerans</i>	<i>Pantoea calida</i>
<i>Paracoccus yeei</i>	<i>Providencia rettgeri</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>
<i>Pseudomonas monteilii</i>	<i>Pseudomonas mosselii</i>	<i>Pseudomonas oleovorans</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	<i>Rhizobium radiobacter</i>	<i>Roseomonas aerofrigidensis</i>	<i>Roseomonas mucosa</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Shewanella putrefaciens</i>	<i>Sphingobacterium aurantiaca</i>	<i>Sphingobacterium aerolata</i>	<i>Sphingobacterium faecium</i>	<i>Sphingobacterium mizutaii</i>
<i>Sphingomonas faeni</i>	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Yersinia massiliensis</i>	<i>Yersinia aleksiciae</i>
<i>Yersinia mollaretii</i>				

Artssammensætning – bakterier, årstid og områder

Personer - årstid



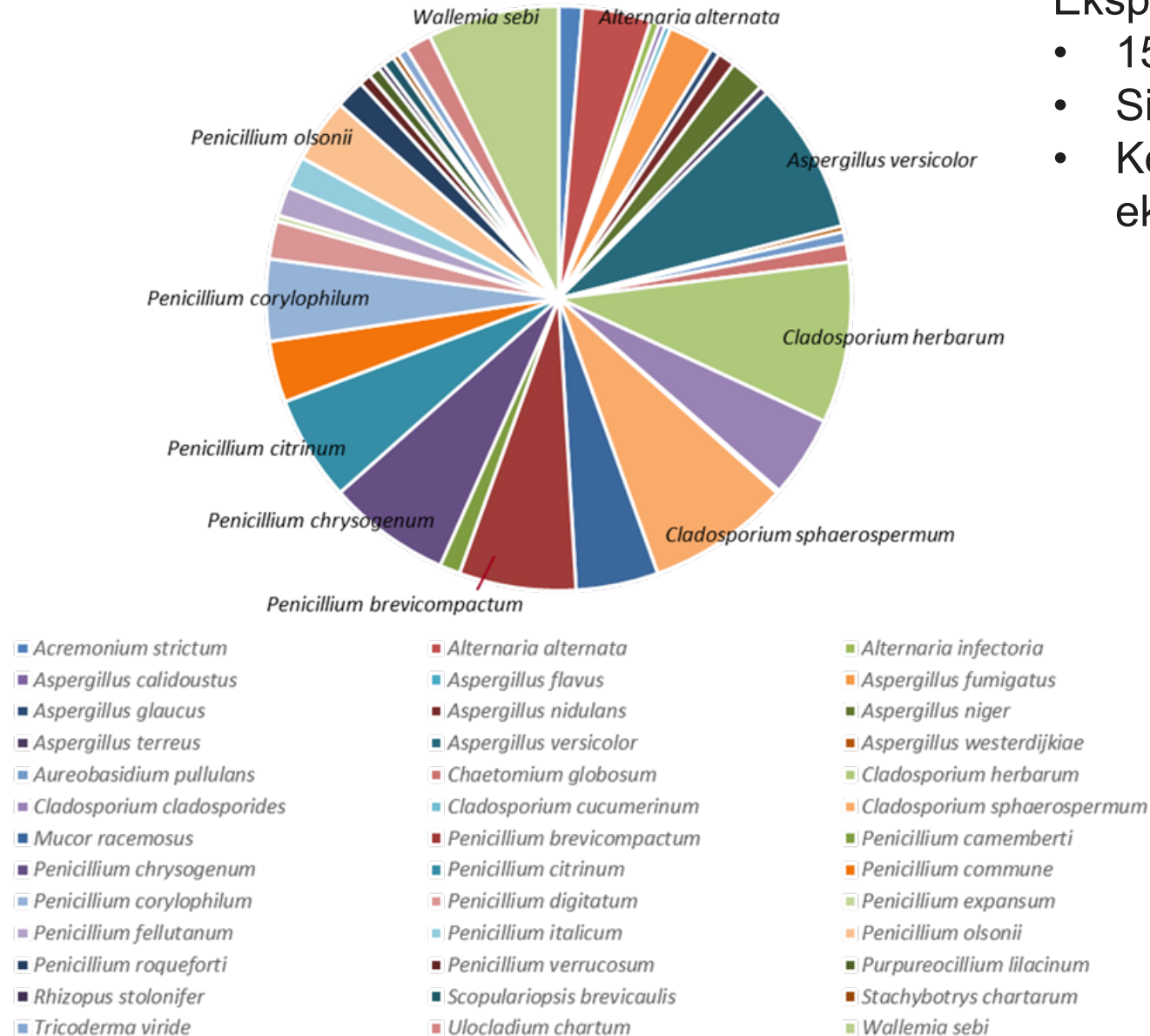
Områder og personer



Eksponering for svampe

Eksponering for svampe:

- 158 ($5-8.7 \times 10^3$) CFU/m³
- Signifikant forskel mellem personer
- Korrelerer ikke med andre eksponeringer.



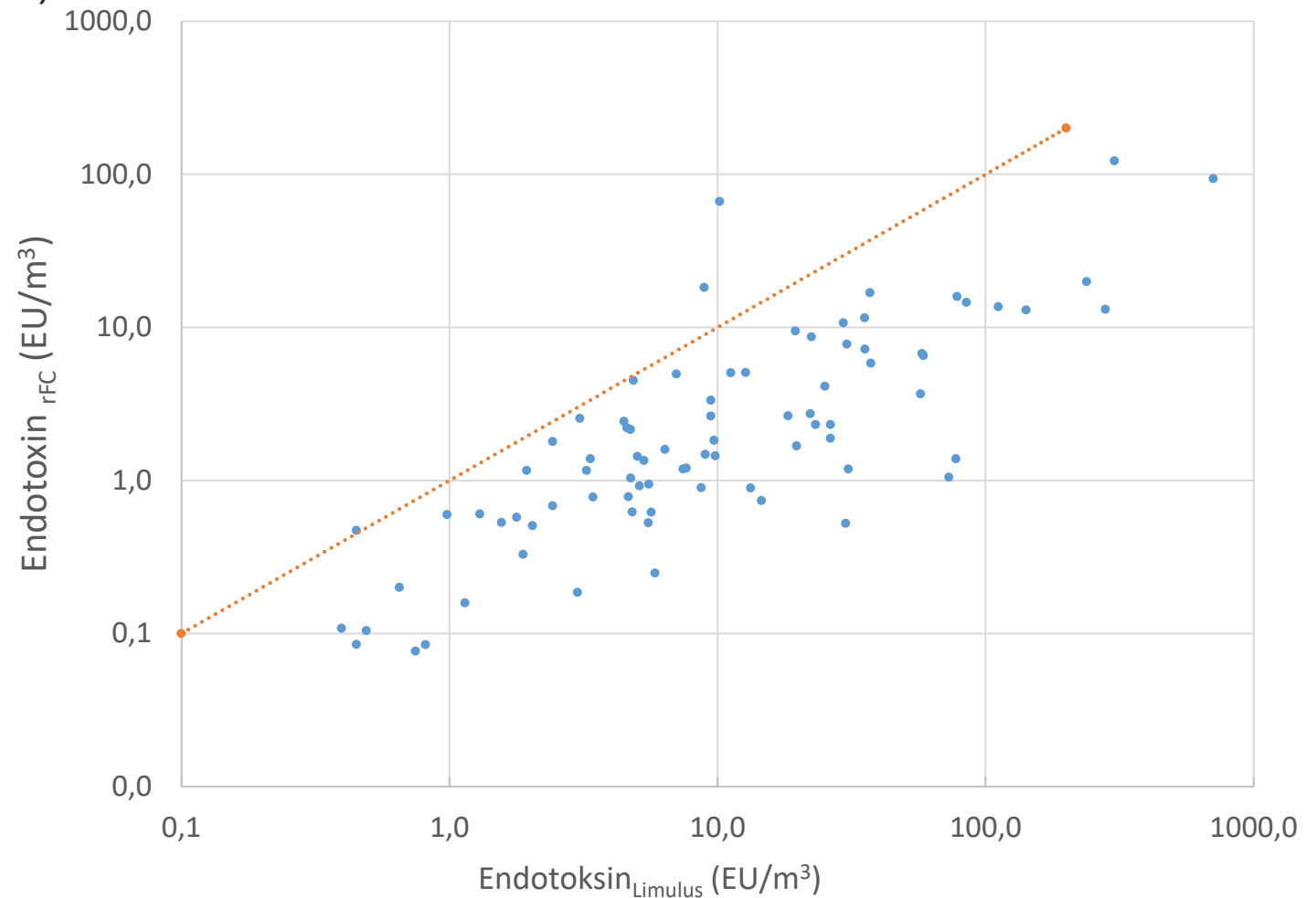
Endotoksin eksponering

Endotoksin_{Limulus-day} : 10 EU/m³ (0.39-707)

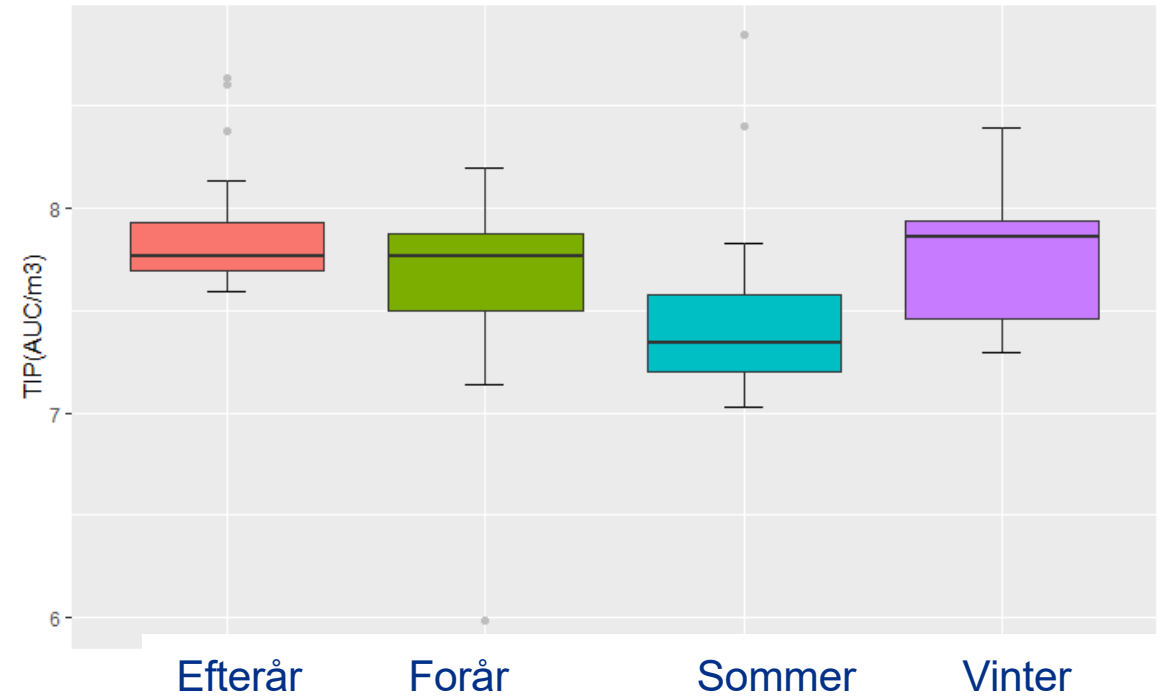
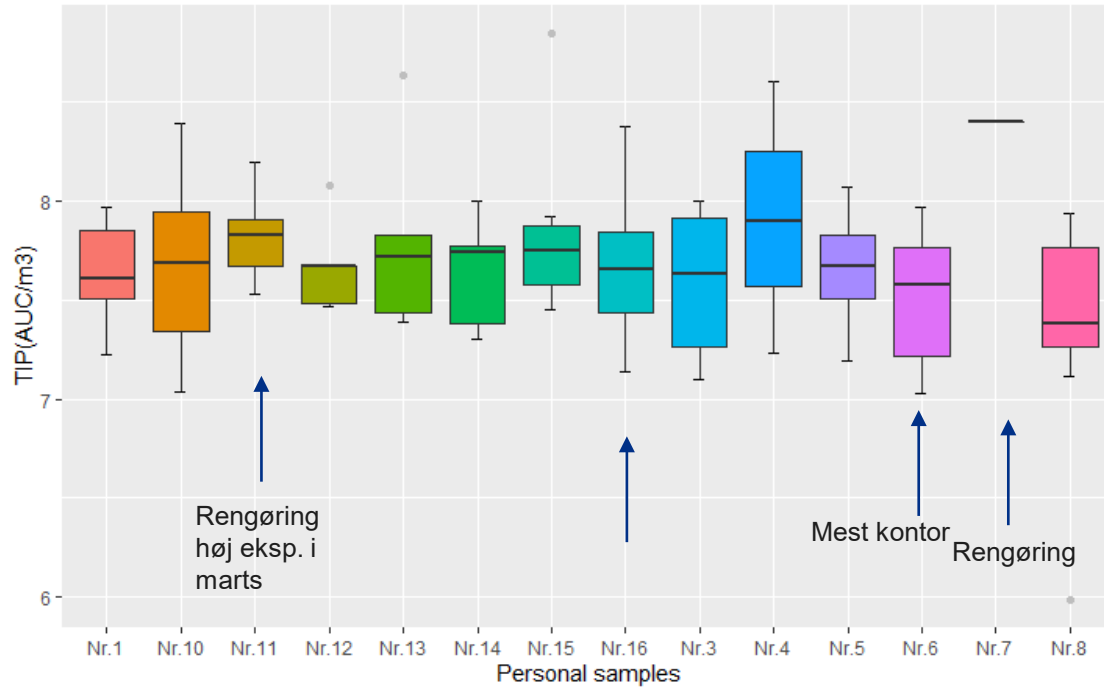
Endotoksin_{rFC-day} : 1.9 EU/m³ (0.08-133)

Signifikant forskel mellem personer

34% over 50 EU/m³



Inflammatorisk potentiale – et samlet mål



Eksponering for bakterier korrelerede med det inflammatoriske potentiale

Inflammatorisk potentiale og arter af bakterier

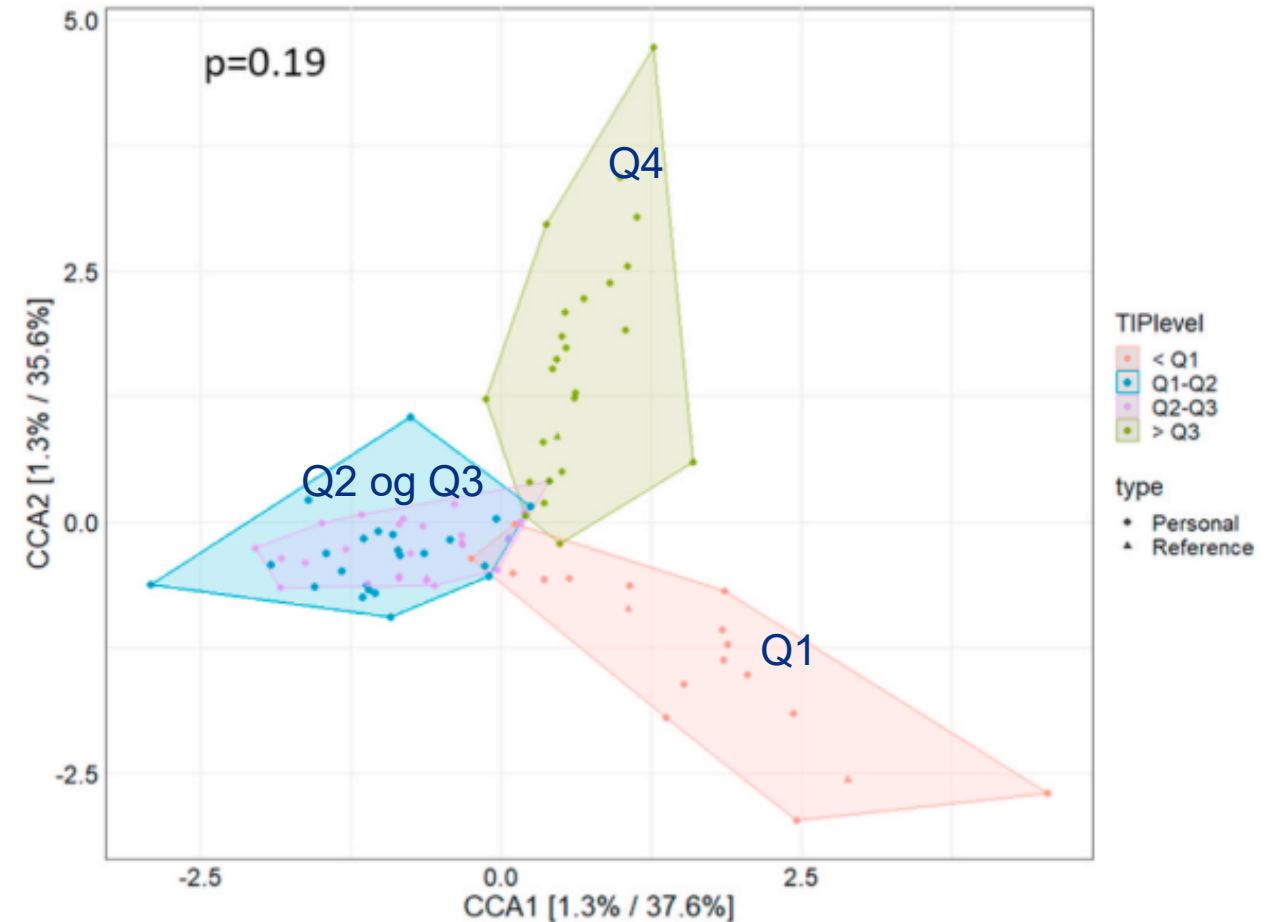
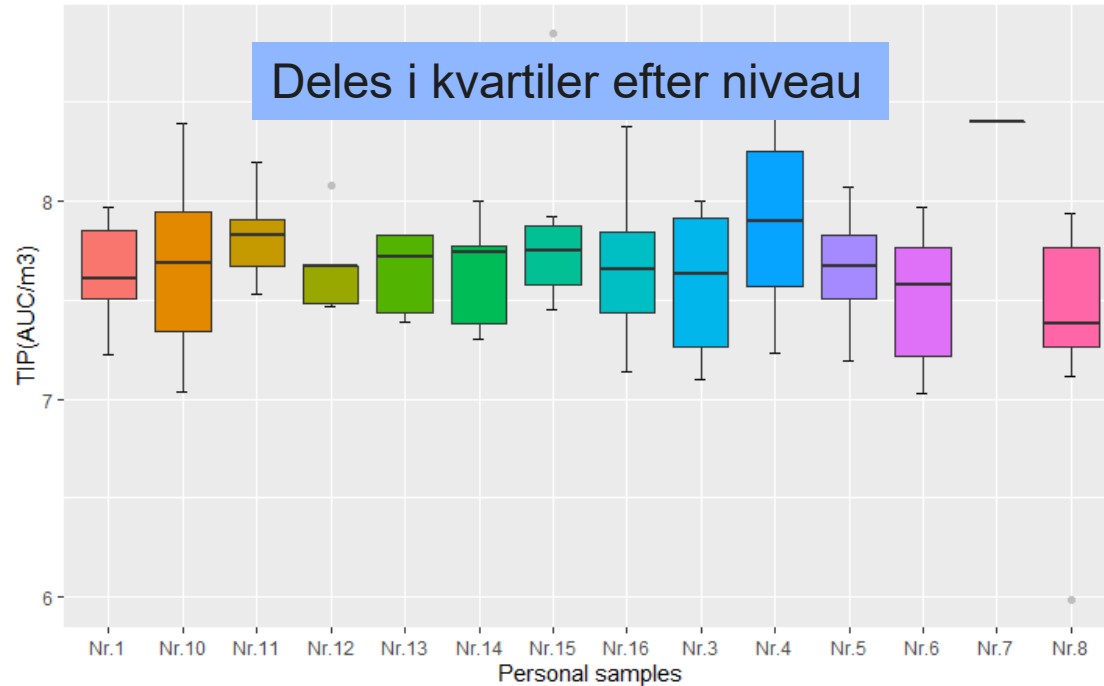


Fig. 6. Canonical correspondence analysis (CCA) of airborne bacteria constrained by the 4 quartiles of TIP levels (Q1 = 2.57×10^7 , Q2 = 4.85×10^7 , Q3 = 8.10×10^7 AUC/m³).

Hvor arbejdede de mest eksponerede personer hovedsageligt

Bakterier:

- Køre med aske
- Askegrav
- Ingeniørgang (rør til biologiske tanke mm)
- Polymeranlæg (afvanding af slam)
- Slamaftvands- og forbrændingsbygning
- Rådnetank og gasbeholder

Endotoksin:

- Slamaftvands- og forbrændingsbygning
- Rundering i udefinerede områder
- Polymeranlæg (afvanding af slam)
- Ristehus og sandfang
- Rådnetank og gasbeholder

CRP

Serum levels of CRP

- Range: 0.24 - 8.6 mg/l, av: 1.94, GM: 1.4 mg/l,
- Signifikant forskel mellem personer ($p < 0.0001$).

Gns. lavere end for folk med diarré – bortset for højeste niveau

CRP associeret med:

- Dosis af endotoksin +

SAA

Serum levels of SAA

- Range: 2.7 and 104 mg/l, av.:18, GM:12 mg/l,
- Signifikant forskel mellem personer ($p < 0.0001$).

Gns. lavere end for folk med diarré – bortset for højeste niveau

SAA associeret med:

- Dosis af endotoksin +
- Dosis af svampe -

Serum niveauer af SAA korrelerede signifikant med CRP ($r=0.30$, $p=0.0068$).

CRP binder til bakterier og faciliterer fagocytose (Manley, 2006). Forhøjede niveauer er fundet i serumprøver fra spildevandsarbejdere (Heldal, 2010; Mattsby, 1978; Thorn og Beijer, 2004) og er associeret med nedsat lungefunktion (Heldal et al., 2019). Serum-CRP er højere hos patienter med astma og rhinitis end hos raske kontrolpersoner og stiger med sværhedsgraden af astma.

SAA et akut-fase protein, meget høj under infektioner; Høj i patienter med astma Fremmer rydning af endotoksin i dyremodeller (cheng et al 2018)

Konklusioner – kohorte studiet

- 13 personer blev fulgte igennem et år – tak til deltagerne
 - Det var svært at få detaljeret og systematisk viden om arbejdsopgaver og hvor de har opholdt sig – rundering – bevæger sig rundt på anlægget
 - For alle eksponeringer var der individ-forskelle i eksponerings-niveauer
 - Afvanding af slam, rådnetanke
 - Overlap (fx *E. coli*) men også systematiske forskelle i hvilke arter af bakterier der findes i ristehus vs beluftningstank.
- Årstidsvariation i eksponeringsniveauer af: bakterier, endotoksin og svampe – og i TIP
 - Årstidsvariation i: arter af bakterier og svampe – men også overlap
 - Eksponering for bakterier, endotoksin og svampe kunne være høj for individer på enkelte dage – men gennemsnit ikke høje.
- En del forskellige bakterier, som kan give maveproblemer – men alle i lave koncentrationer.
 - Svampearter der er allergene – men i lave koncentrationer.
 - Bakterie- og endotoksin-eksponering var stærk korreleret – og højere eksponering var korreleret med højere SAA og CRP – og TIP (ROS i celleassay).
 - Derfor relevant med et fortsat fokus på (hånd)hygiejne og at reducere eksponering,

Et studie med målinger på fire rensningsanlæg

Characterization of bioaerosol exposures in wastewater treatment plant workers and serum levels of lung and inflammatory markers



- Arbejdspladsmålingerne blev gennemført i 2021-2022
- Omfattede medarbejdere fra to rensningsanlæg på Sjælland og to i Jylland.
- Hvert anlæg blev besøgt forår og efterår.
- Tre anlæg behandlede hovedsageligt kommunalt spildevand, mens ét også modtog 50% industrielt spildevand.
- I alt deltog 40 mænd og 4 kvinder (77 eksponeringsmålinger og 67 blodprøver), ingen rygere.
- Udførte deres daglige arbejdsopgaver, hvor nogle arbejdede på satellit-rensnings-anlæg eller kloaksystemet opstrøms fra anlæggene.

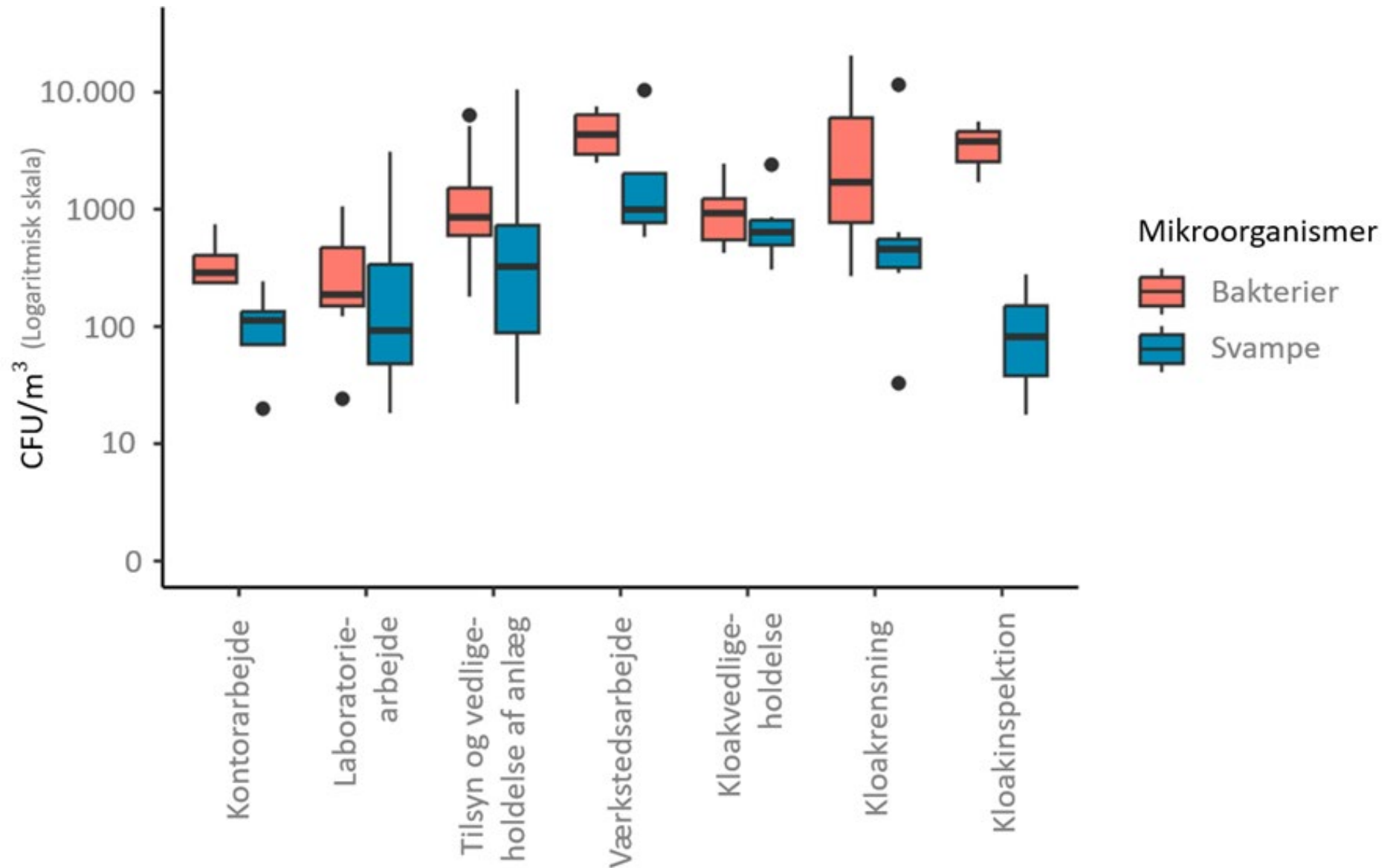
Eksponering for svampe og bakterier

Eksponering for bakterier var associeret med:

- Støv +
- Arbejdsopgave

Svampe med:

- Støv +
- Arbejdsopgave
- Temperatur (0-17) +
- RH (67-96) +



Laveste og højeste eksponeringer

Laveste eksponeringer

Bakterier

Laboratoriarbejde (GM = 174 CFU/m³)

Svampe, endotoksin og støv

Kontorarbejde (GM = 88 CFU/m³ svampe; 3,7 EU/m³ endotoksin og 0,06 mg/m³ støv)

Højeste eksponeringer

Værksteder, kloakinspektion og kloakrensning

Bakterier og svampe

Maksimal eksponering: Operatør af en kombineret slamsuger og højtryksspuler, der rensede en buffertank med genanvendt vand
($2,05 \times 10^4$ CFU/m³ bakterier og $1,15 \times 10^4$ CFU/m³ svampe)

Støv

Inspicering af kloaksystemet opstrøms for rensningsanlæggene (GM = 0,22 mg/m³)

Endotoksin

Værksteder

Maksimal eksponering: Vedligeholdelse af kloaksystemet (303 EU/m³)

GM = Geometrisk middelværdi

Arter af svampe og bakterier i risikoklasse 2 efter ATs liste

DNA-sekventering

Candida tropicalis i 11 eksponeringer ved arbejde i laboratoriet, på værkstedet, med tilsyn og vedligeholdelse af rensningsanlæg og kloaksystemet og kloakinspektion.

MALDI-TOF MS:

Clostridium perfringens (18 prøver, 7-138 CFU/m³), fx diarré

Escherichia coli (1 prøve, 16 CFU/m³) diarré

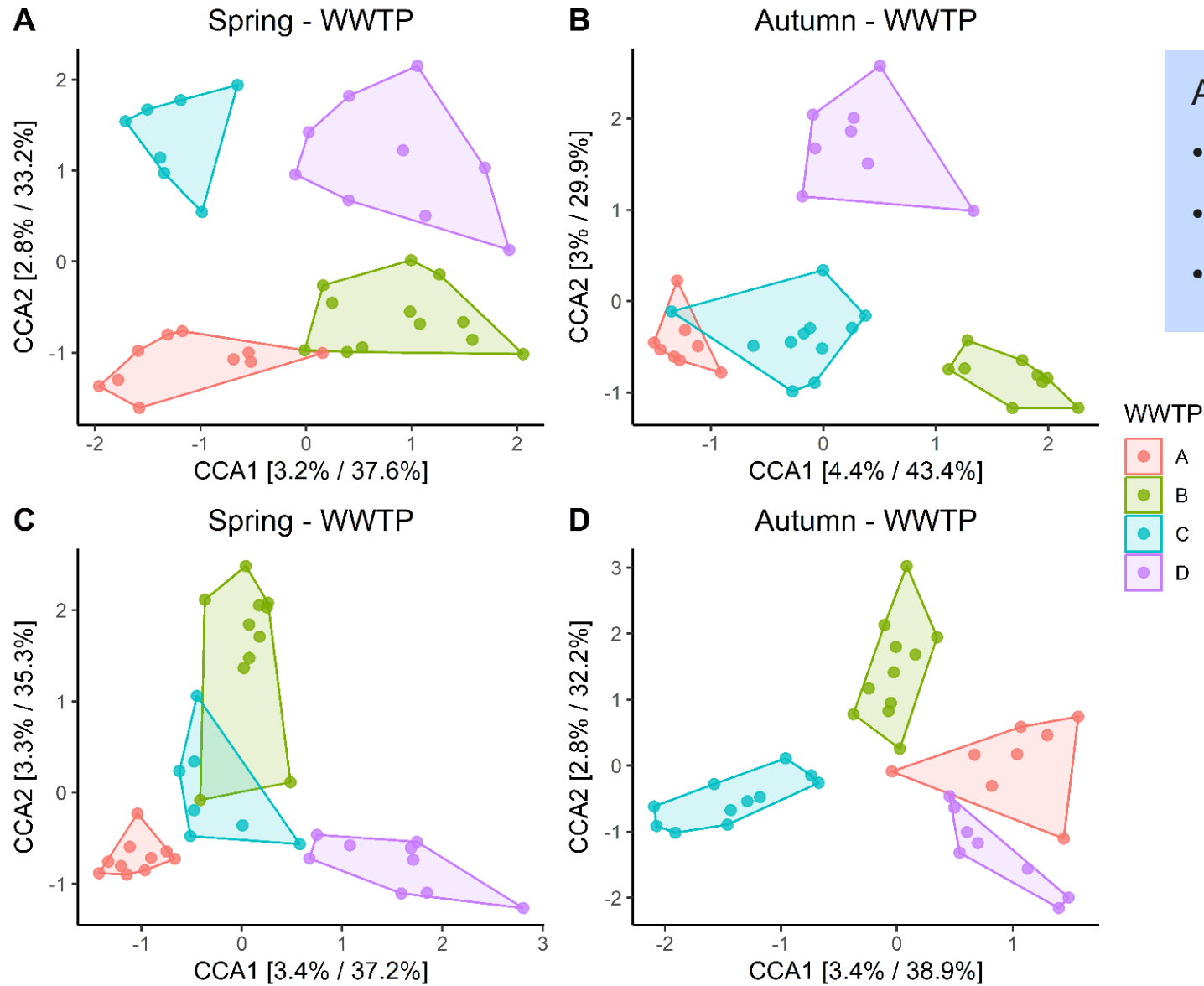
Nocardia nova (1 prøve, 23 CFU/m³), kan fx give lungebetændelse

Ved arbejde med vedligeholdelse af rensningsanlæg, på værkstedet eller kloaksystemet.

Bacillus cereus (26% af prøverne; op til 553 CFU/m³). Kan forårsage diarré men kræver normalt 10^5 – 10^8 celler for at udløse sygdom.

Aspergillus fumigatus (RG2) blev fundet i 21 luftprøver (6-73 CFU/m³). Kan give infektioner i luftveje.

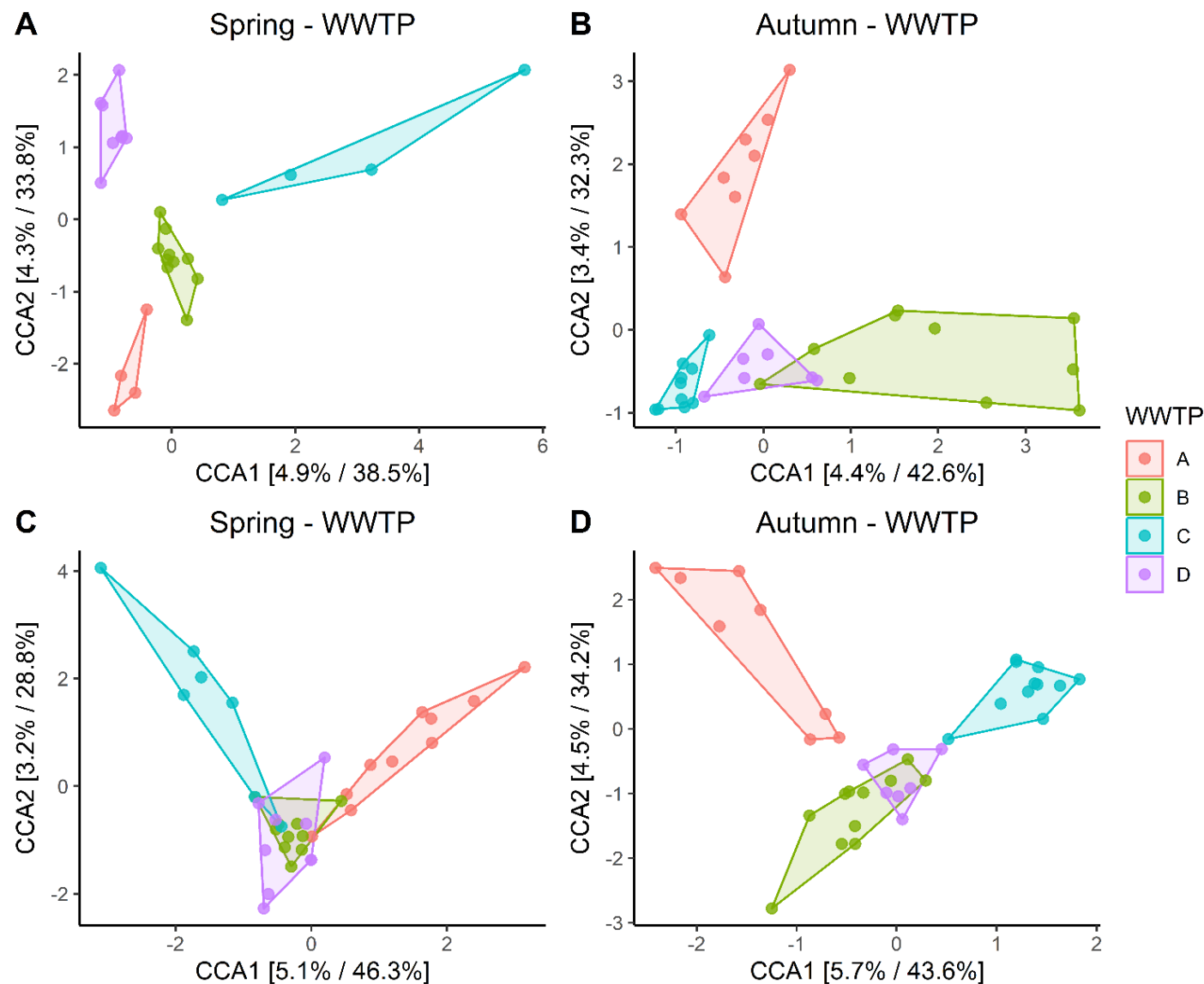
Artssammensætning, anlæg, bakterier



Artssammensætningen af bakterier (16S rRNA gen):

- ligner hinanden inden for samme rensningsanlæg
- forskelle mellem anlæggene
- forskelle mellem nogle arbejdsopgaver.

Artssammensætning – anlæg, svampe



Artssammensætningen svampe (ITs1 gen):

- ligner hinanden inden for samme rensningsanlæg,
- forskelle mellem anlæggene
- forskel mellem nogle arbejdsopgaver.

CRP

Serum levels of CRP

- Range: 0.09 - 9.4 mg/l GM: 1.0 mg/l, - ca som tidligere

CRP associeret med:

- Eksponering for bakterier +
- Eksponering for endotoksin -

SAA

Serum levels of SAA

- Range: 1.8 and 197 mg/l, GM:14.5 mg/l, lidt højere end tidligere

Ingen statistiske sammenhænge til eksponering

Serum niveauer af SAA korrelerede signifikant med CRP ($r=0.30$, $p=0.0068$).

CRP binder til bakterier og faciliterer fagocytose (Manley, 2006). Forhøjede niveauer er fundet i serumprøver fra spildevandsarbejdere (Heldal, 2010; Mattsby, 1978; Thorn og Beijer, 2004) og er associeret med nedsat lungefunktion (Heldal et al., 2019). Serum-CRP er højere hos patienter med astma og rhinitis end hos raske kontrolpersoner og stiger med sværhedsgraden af astma.

SAA et akut-fase protein, meget høj under infektioner; Høj i patienter med astma Fremmer rydning af endotoksin i dyremodeller (cheng et al 2018)

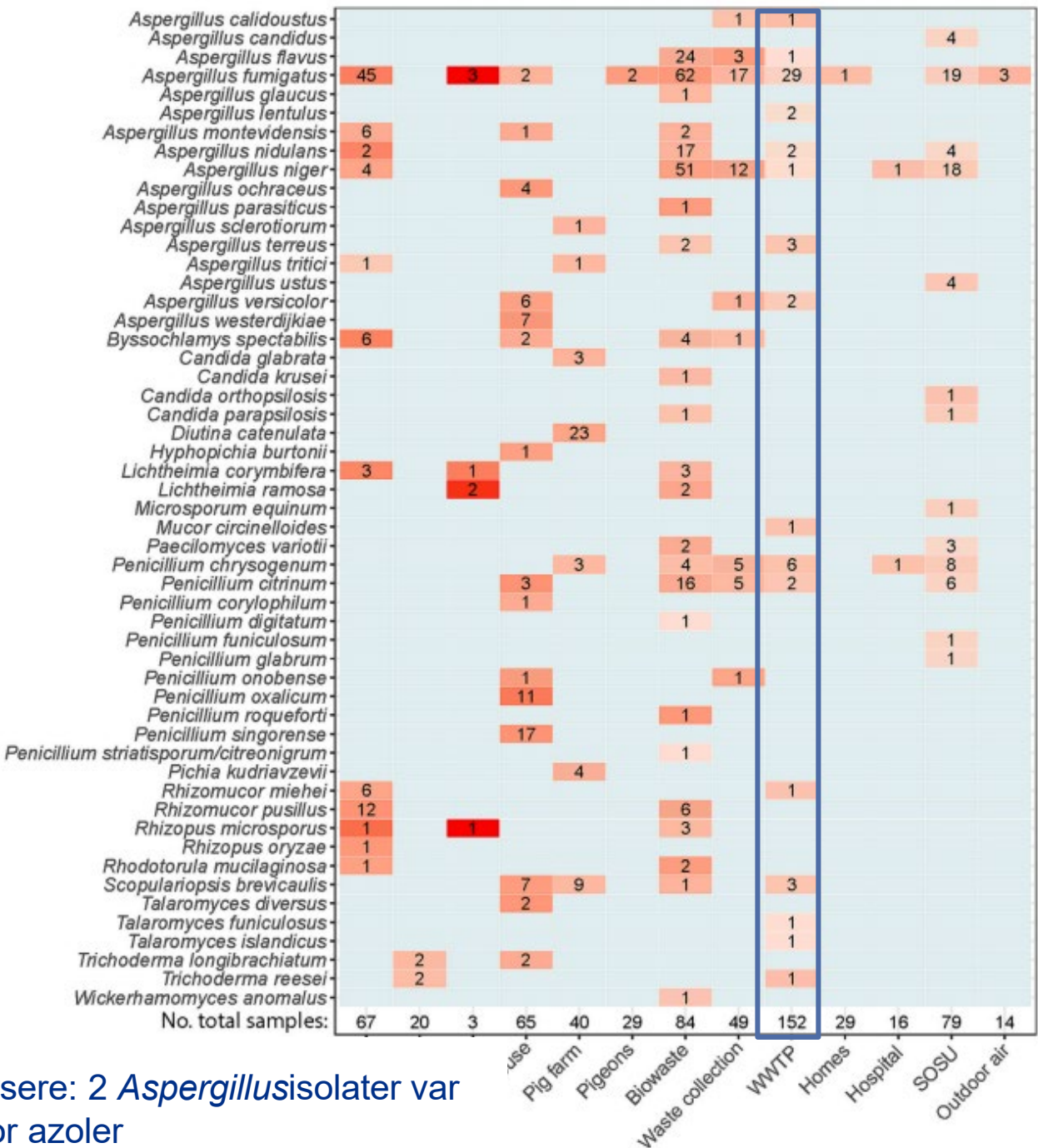
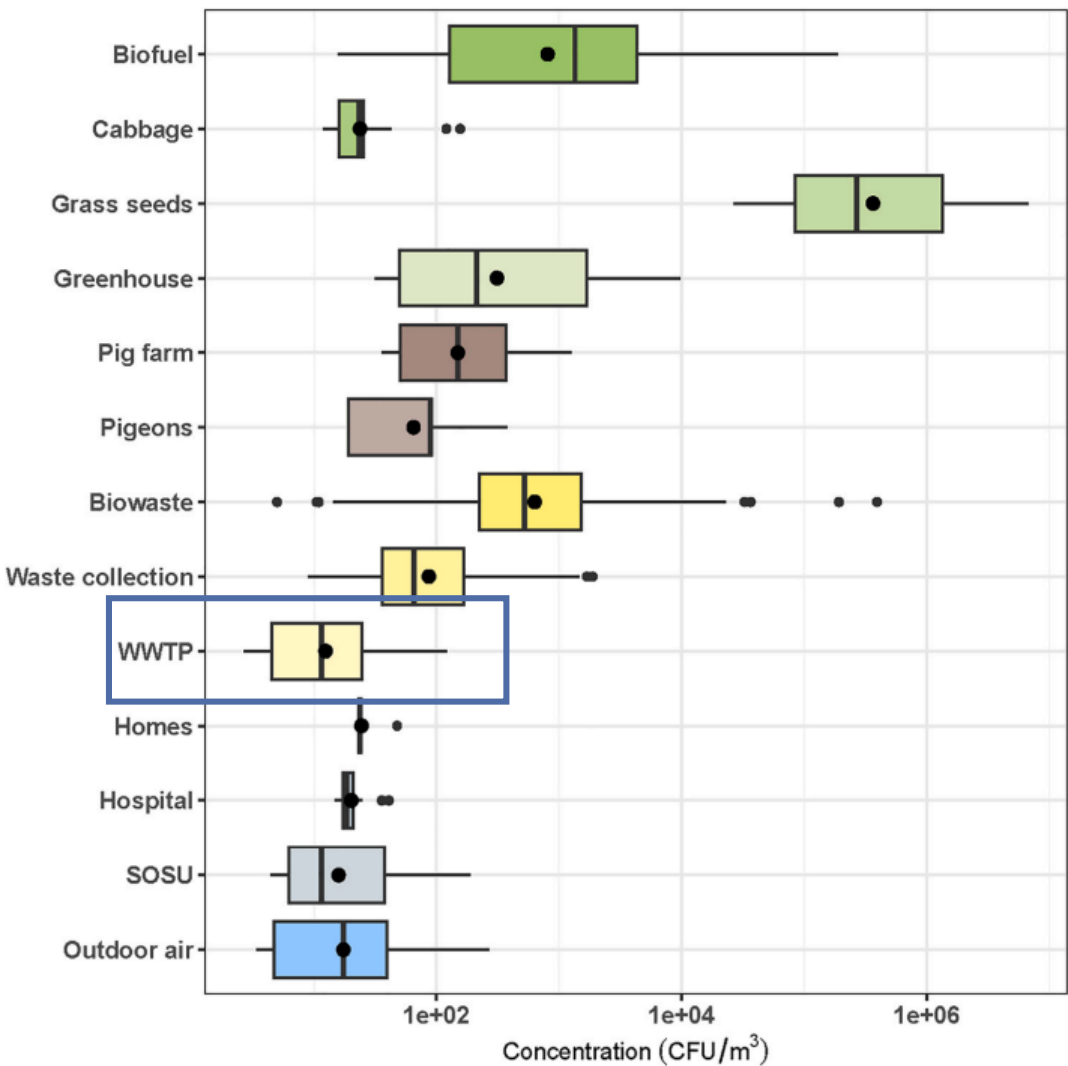
Konklusion

At opnå viden om.:

1. Eksponering for biologiske agenser
2. Arbejde med særlig risiko for eksponering
3. Risikovurdering af eksponeringerne
4. Sammenhæng imellem eksponering og mål for helbred
5. Formidle resultaterne til interessenter

1. Målt via 77 personbårne målinger. Målinger i områder – Potentiel deponering i luftveje.
2. Værkstedsarbejde, kloakinspektion, vedligeholdelse/rensning af kloaksystemet. Fugtighed og temperatur – ikke for bakterier.
3. GM for de fleste arbejdsopgaver under 50 EU/m³. Bakterie eksponering klart forhøjet. Human patogener i lave koncentrationer.
4. Bakterie-eksponering ser ud til at være relateret til systematisk inflammation. Ikke helt klare resultater. Forskellige arter i forskellige områder.
5. Formidlet via Spildevandsteknisk forening, danske artikler og følgegruppemøder.

Perspektivering svampe-niveauer og fungicid-resistens



Exposure to resistant fungi across working environments and time

Victor Carp Kofoed^a, Christopher Campion^a, Pil Uthaug Rasmussen^a, Signe Agnete Møller^{a,b}, Mathias Eskildsen^b, Jeppe Lund Nielsen^b, Anne Mette Madsen^{a,e}

^a National Research Centre for the Working Environment, Lersø Parkallé 105, 2100 Copenhagen Ø, Denmark
^b Department of Chemistry and Bioscience, Aalborg University, Fredrik Bajers Vej 7H, 9220 Aalborg Ø, Denmark

152 prøver analysere: 2 *Aspergillus* isolater var resistente over for azoler

Perspektivering antibiotika-resistens

- *Staphylococcus aureus* – seks isolater testet: ikke resistente
- Relevant at teste flere isolater og andre af de fundne RC2 patogener fx:
Clostridium perfringens og *Escherichia coli*

Perspektivering - metoder

Eksponering:

- Forskellige eksponerings-niveauer
- Forskellige artsammensætning
- Nye endotoksin-assay Måske vent med at bruge det
- Forebyggelse – stor variation inden for en arbejdstype

Effektmål:

- Nye, brede og åbne mål for proteiner, inflammation

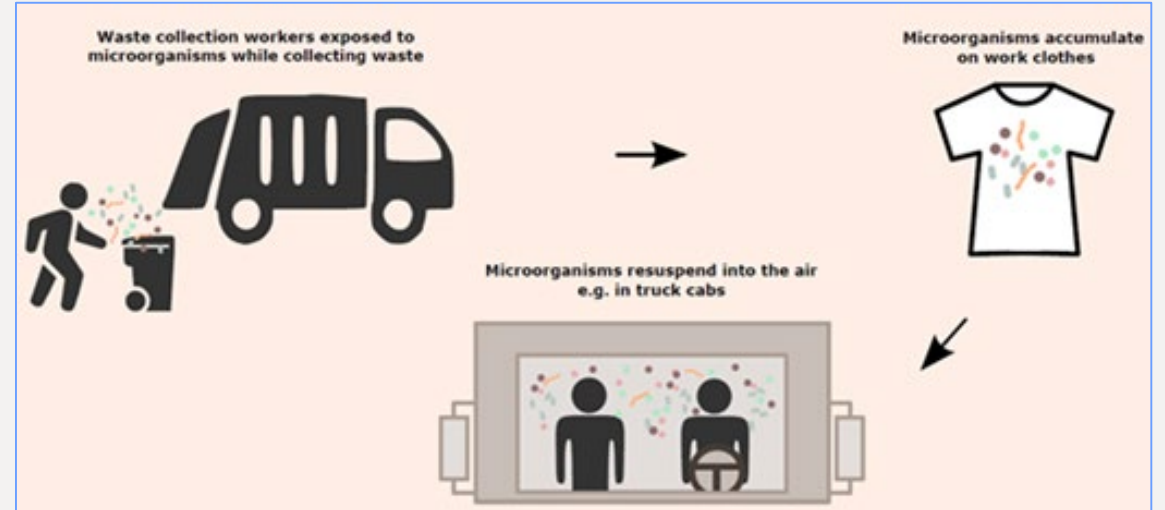
- Spørgeskemadata
- Større studier – analysere studier samlet
- Kontrollerede forsøg fx naive personer
- Cellelinjer

Perspektivering: Eksponering og arbejdsopgaver

	Bioaffald		Skraldemænd		Rensningsanlæg	
Eksponering	GM	(range)	GM	(range)	GM	(range)
Støv (mg/m ³)	0.13	(0.01-0.65)	0.32	(0.03 - 5.29)	0.10	(0.02 – 0.61)
Svampe (cfu/m ³)	4000	(35-100.000)	3680	(61 – 40.741)	300	(18 – 11.500)
Bakterier (cfu/m ³)	3000	(100-110.000)	1060	(51 – 81.700)	900	(24 – 20.500)



Skraldemænd – faktorer af betydning for eksponering



Hæv læssehøjden
Køb skraldebiler med høj læssehøjde, når I alligevel skal skifte.

Tag hensyn til temperaturen
Indsaml fordærveligt affald hyppigere, når temperaturen er høj.

Rengør førerhuset
Gør førerhuset rent med jævne mellemrum – fx når I tanker bilen.

Sprit hænderne af
Hav altid håndsprit i førerhuset og brug det – fx når I holder frokost eller pauser.

Skift handsker
Skift våde arbejdshandsker ud med tørre, og tør ikke våde handsker i førerhuset.

Tak for Funding fra:
AMFF

Tak til alle deltagere

Tak til alle kollegaer



Margit Wagtberg



Signe A Møller



Mohammad S. Delsuz



Victor Carp Kofoed

