



Spildevandsslam er egnet som gødning på
landbrugsjord og er bedre end sit rygte

Jakob Magid

ATV Jord og Grundvand
8. december 2021
DGI byen

UNIVERSITY OF COPENHAGEN



Grundlæggende antagelser ...

I de fleste restprodukter fra dyr- og mennesker finder vi utallige stoffer, som vi i den bedste af alle verdener vil undgå at sende tilbage til fødevaresystemet:

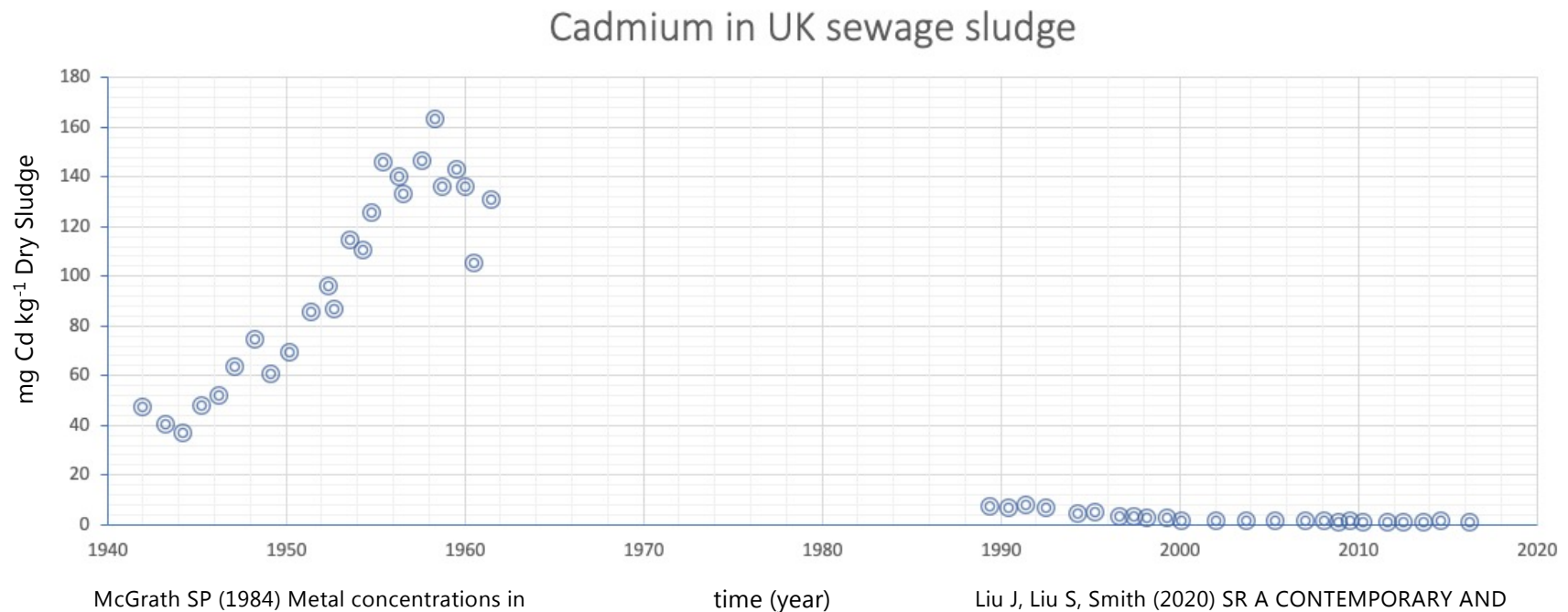
medicin rester, pesticider, persistente organiske forurenende stoffer, tungmetaller, mikroplastik og patogener, hvoraf nogle kan være multiresistente.

Vi mener, at agro-økosystemer er mere robuste og modstandsdygtige over for skadevirkninger af uønskede stoffer end det er gængs at antage for tiden.

Vi mener at vi har brug for denne modstandskraft til at hjælpe os i retning af en cirkulær økonomi, hvor genbrug spiller en fremtrædende rolle.

Hvad ved vi om risici ved recirkulering?

Indholdet af tungmetaller i spildevand har været stærkt aftagende

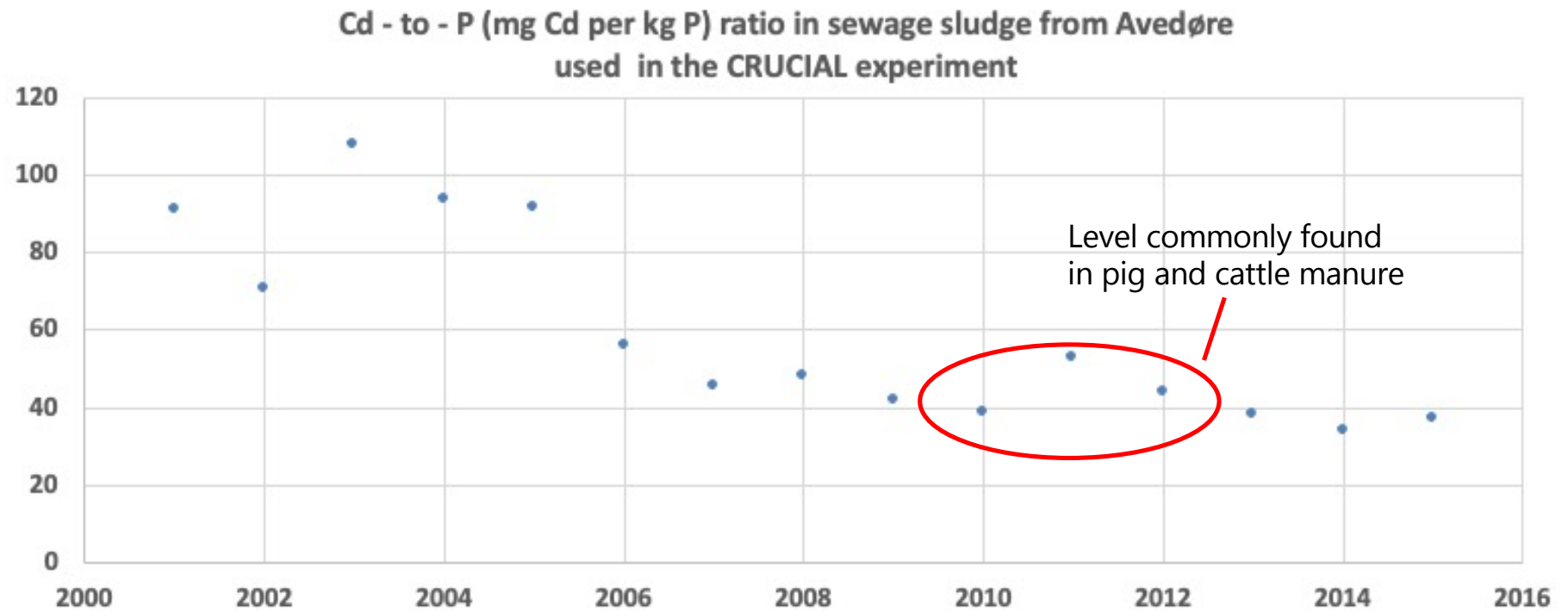


McGrath SP (1984) Metal concentrations in sludges and soil from a long-term field trial. *J Agric Sci* 103:25–35.
doi: 10.1017/S002185960004329X

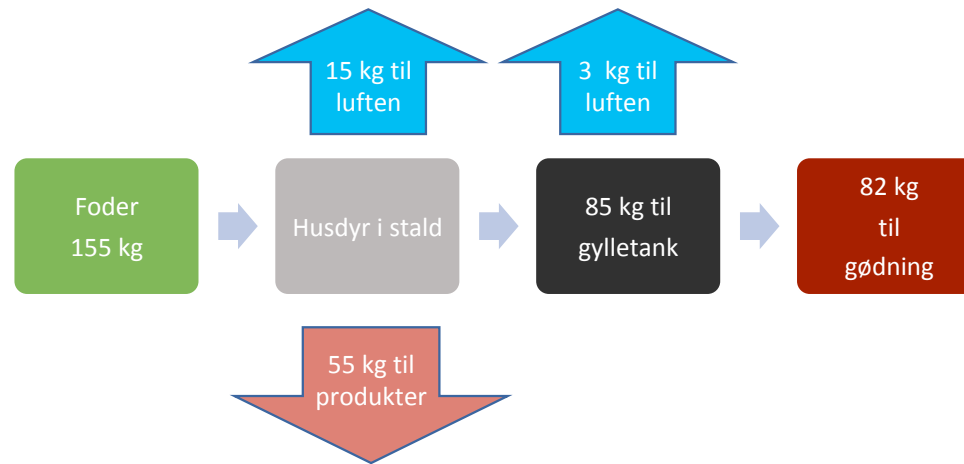
Liu J, Liu S, Smith (2020) SR A CONTEMPORARY AND HISTORICAL ANALYSIS OF THE TRACE ELEMENT COMPOSITION OF SEWAGE SLUDGE IN THE UK . *Water and Environment Journal*
<https://doi.org/10.1111/wej.12677>

Cadmium in alternative Danish P sources

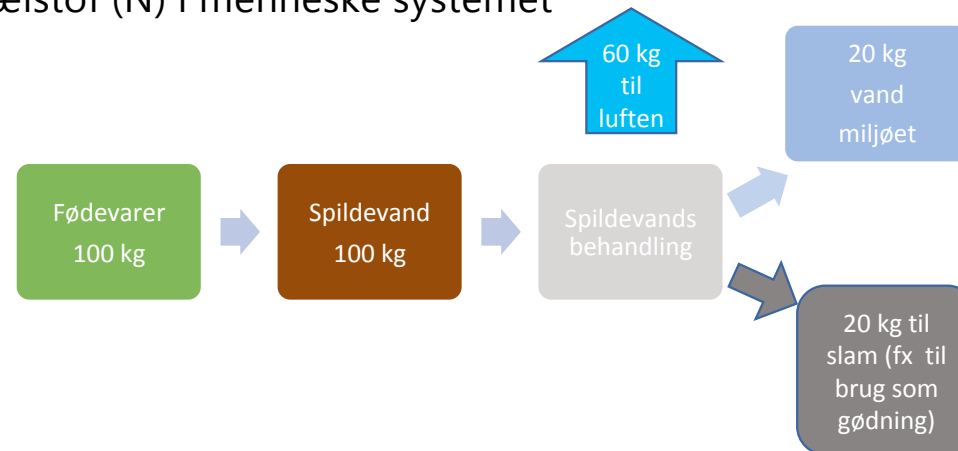
---limit for imported TSP is 100 mg Cd kg⁻¹ P ---



Kvælstof (N) i husdyr systemet



Kvælstof (N) i menneske systemet



Genfindelse af stoffer i biogødning

Det hævdes ofte, at spildevandsslam er fyldt med medicin, pesticider og kvindelige kønshormoner.

Dette er ikke korrekt. Da mange af disse stoffer er vandopløselige, vil de for en stor del blive udvasket fra slamfraktionen og udledes med vandet til vandmiljøet

Derfor er de ikke så dominerende i biogødning

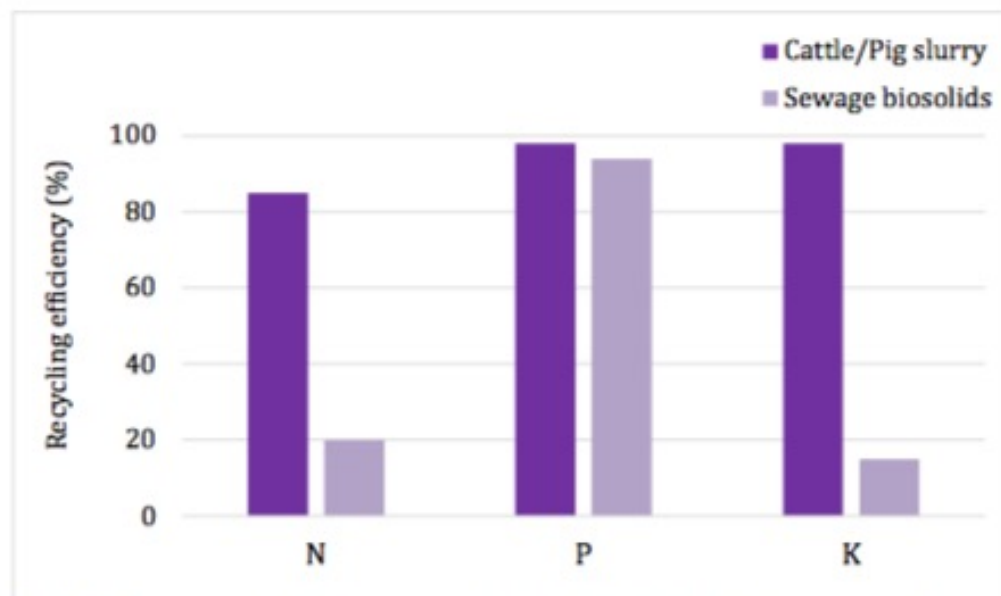


Figure 3.1. Recovery of selected macronutrients in the biosolids/sludge from sewage treatment systems (based on Magid et al., 2006) compared to the recovery of macronutrients from animal slurry from husbandry systems (based on Jarvis et al., 2011).

Generelle forhold ifm toxicitet af spildevands slam

De stoffer, der tilbageholdes i spildevandsslam, er generelt mindre opløselige. De mest giftige stoffer (f.eks Tetrachlorodibenzo-p-dioxin) kan ikke påvises.

De uønskede stoffer i slam påvirkes af en række mekanismer efter udbringning, der hæmmer eller forhindrer overførsel til afgrøder og fødekæden i øvrigt:

- (i) hurtig fordampning og tab til atmosfæren for nogle stoffer,
- (ii) hurtig bionedbrydning og minimal eller ingen persistens for andre,
- (iii) stærk adsorption af persistente forbindelser til jorden, og
- (iv) minimal eller ingen optagelse i planter og græssende dyr.

Udvaskning fra slambehandlede arealer er underbelyst, men må antages at være lav

Smith SR (2009) Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. Philos Trans R Soc A-Mathematical Phys Eng Sci 367:4005–4041



En risikovurdering, der sammenligner konventionel husdyrgylle med spildevandsslam

En kvantitativ vurdering for jordmiljøet

Table 1 Summary of compound and compound groups included.

Compound group	Included compounds
Metals	Sb, Al, As, Ba, Pb, B, Cd, Cu, Co, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Tl, U, V, Zn
Organic contaminants	Aromatic hydrocarbons (7), chlorophenyls (3), dioxins (2), furans (10), halogenated aliphatic and aromatic hydrocarbons (7), LAS, PAH (21), PBDEs (12), PCBs (2), PFS (6), phenols (6), phosphate-triesters (4), phthalate (7), PCMs (35), PCA short and medium chained, triclosan, triclosan
Medicines	Sulfonamides (6), trimethoprim, tylosin, tetracycline, amlodipine, cimetidine, erythromycin, furosemide, paracetamol, salicylic acid, ibuprofen, naproxen, ketoprofen, diclofenac,
Estrogens	Estrone (E1), estradiol (E2), estriol (E3), ethinylestradiol (EE2)

PROS: vurderes til ikke at udgøre et problem, når grænseværdier i slam overholdes

En kvalitativ vurdering af humane helbredseffekter af

- Medicinrester og tungmetaller som optages i spiselige afgrøder
- Antibiotika resistens i landbrugsjorde

Hoved konklusion

Risikoen forbundet med landbrugets brug af dansk spildevandsslam er sammenlignelig med den for svinegylle, når EU-grænseværdierne for Zn og Cu tilsætning til svinefoder er fuldt implementeret

Magid J, Pedersen KE, Hansen M, Cedergreen N, Brandt KK (2020) Comparative assessment of the risks associated with use of manure and sewage sludge in Danish agriculture, *Advances in Agronomy* ADVAN AGRON 162: 289-334,

<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.06.006>

Frit tilgængelig :

<https://plen.ku.dk/raadgivning/rapporter/Assessment of risks related to agricultural use of sewage sludge pig and cattle slurry.pdf>

Populærvidenskabelig version:

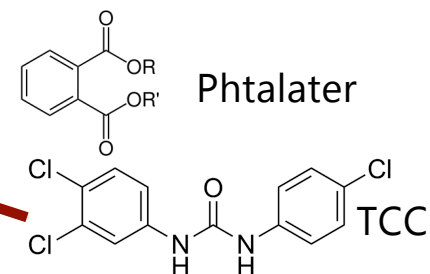
<https://plen.ku.dk/raadgivning/rapporter/En vurdering af indholdsstoffer i gylle fra kvaeg svin og biogødning fra spildevand dansk.pdf>

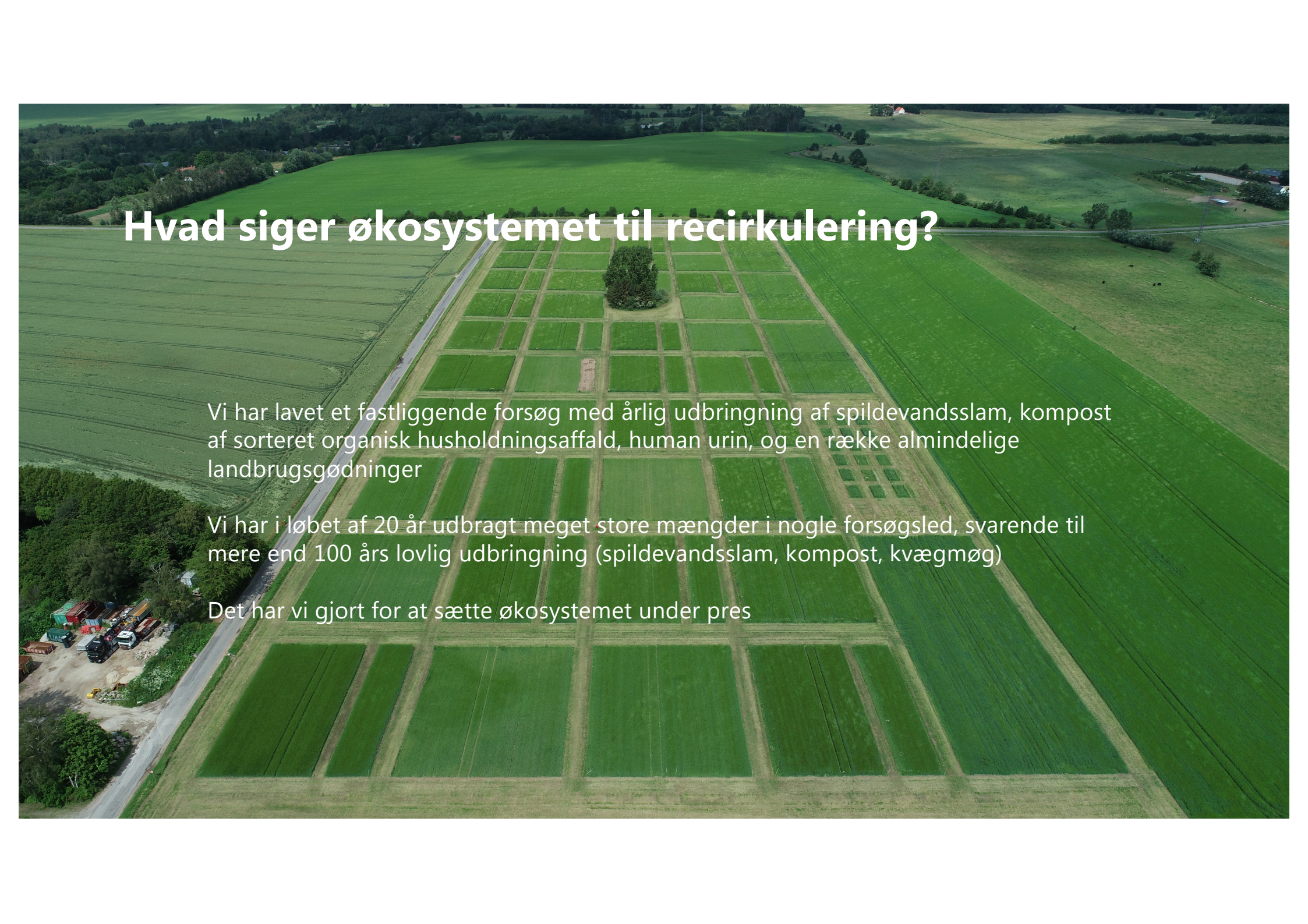
Det vi ikke
ved noget
som helst
om

Det vi ved
vi ikke ved

Det vi ved

Man kan få viden om 'Det vi ved vi ikke ved'
og 'Det vi ikke ved noget som helst om'
gennem integrerede, realistiske eksperimenter
hvor 'cocktail' effekter af recirkulerede
produkter kommer fuldt ud til udtryk





Hvad siger økosystemet til recirkulering?

Vi har lavet et fastliggende forsøg med årlig udbringning af spildevandsslam, kompost af sorteret organisk husholdningsaffald, human urin, og en række almindelige landbrugsgødninger

Vi har i løbet af 20 år udbragt meget store mængder i nogle forsøgsled, svarende til mere end 100 års lovlig udbringning (spildevandsslam, kompost, kvægmøg)

Det har vi gjort for at sætte økosystemet under pres

Agriculture, Ecosystems and Environment 231 (2016) 44–53



Contents lists available at ScienceDirect

Agriculture, Ecosystems and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agee



Long-term amendment of urban and animal wastes equivalent to more than 100 years of application had minimal effect on plant uptake of potentially toxic elements



Sandra López-Rayó, Kristian H. Laursen, Jonas D.S. Lekfeldt, Fabio Delle Grazie, Jakob Magid*

Plant and Soil Science, Department of Plant and Environmental Sciences, Faculty of Science, University of Copenhagen, Thorvaldsensvej 40, Frederiksberg DK-1871, Denmark



RESEARCH ARTICLE

Exploring the immediate and long-term impact on bacterial communities in soil amended with animal and urban organic waste fertilizers using pyrosequencing and screening for horizontal transfer of antibiotic resistance

Leise Riber¹, Pernille H.B. Poulsen^{1,2}, Waleed A. Al-Soud¹, Lea B. Skov Hansen¹, Lasse Bergmark^{1,3}, Asker Brejnrod¹, Anders Norman^{1,4}, Lars H. Hansen^{1,5}, Jakob Magid⁶ & Søren J. Sørensen¹

¹Section of Microbiology, Department of Biology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark; ²Danish Standards Foundation, Charlottenlund, Denmark; ³National Food Institute, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark; ⁴Department of Earth and Planetary Science, University of California Berkeley, Berkeley, CA, USA; ⁵Department of Environmental Science, Aarhus University, Roskilde, Denmark; and ⁶Department of Plant and Environmental Science, University of Copenhagen, Frederiksberg C, Denmark

Antibiotikaresistens af pseudomonader blev kun påvirket i kort tid (3 uger) efter tilførsel af kvægmøg, slam og kompost.

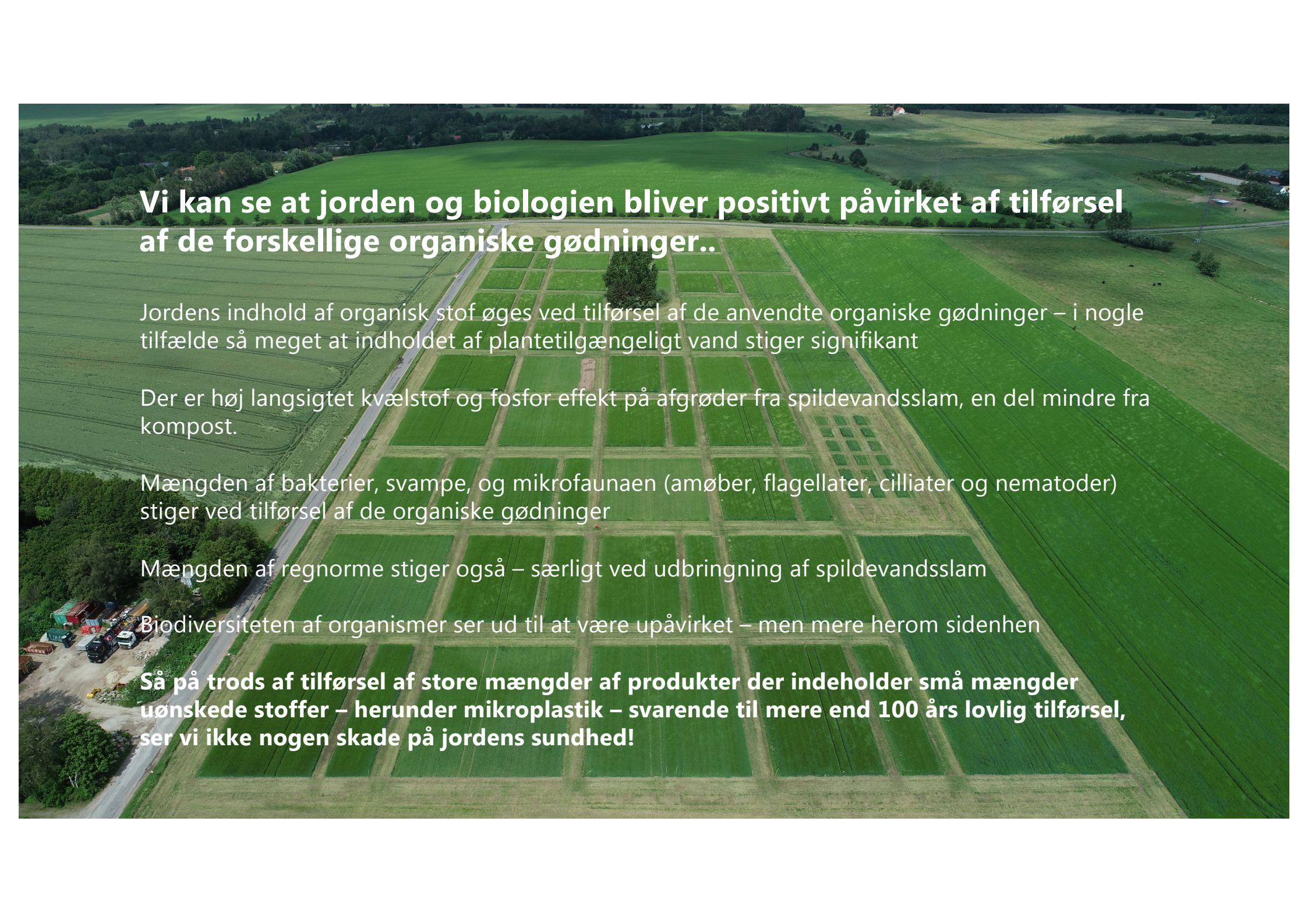
P. putida stammer kunne fange resistensgener fra bakterier tilført kvægmøg, slam og kompost, men kun i en uge efter tilførsel. Dette tyder på at tilstedeværelsen af overførbare resistens gener var tidsbegrænset.



Vi er begyndt bedre at forstå hvor meget jorden hjælper os, og vi har ikke påskønnet det tilstrækkeligt tidligere..

Multiresistente bakterier der udbringes med kvægmøg, kompost og slam henfalder hurtigt, og kan ikke spores efter få uger

Selvom der tilføres uønskede tungmetaller særligt i kompost og i nogen grad slam, påvirker det ikke afgrødens indhold, da de fastlægges i jorden



Vi kan se at jorden og biologien bliver positivt påvirket af tilførsel af de forskellige organiske gødninger..

Jordens indhold af organisk stof øges ved tilførsel af de anvendte organiske gødninger – i nogle tilfælde så meget at indholdet af plantetilgængeligt vand stiger signifikant

Der er høj langsigtet kvælstof og fosfor effekt på afgrøder fra spildevandsslam, en del mindre fra kompost.

Mængden af bakterier, svampe, og mikrofaunaen (amøber, flagellater, ciliater og nematoder) stiger ved tilførsel af de organiske gødninger

Mængden af regnorme stiger også – særligt ved udbringning af spildevandsslam

Biodiversiteten af organismer ser ud til at være upåvirket – men mere herom sidenhen

Så på trods af tilførsel af store mængder af produkter der indeholder små mængder uønskede stoffer – herunder mikroplastik – svarende til mere end 100 års lovlig tilførsel, ser vi ikke nogen skade på jordens sundhed!

Hvad sker der ved afbrændning/opvarmning?

Kondensering og dannelse af krystalinske P mineraler fremmes

Phosphate mineral	Equilibrium reaction	$-\log K_{sp}$
Hydroxyapatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{H}^+ = 5\text{Ca}^{2+} + 3\text{PO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O}$	44.33
Chloroapatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl} = 5\text{Ca}^{2+} + 3\text{PO}_4^{3-} + \text{Cl}^-$	46.89
Low Whitlockite	$\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 3\text{Ca}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-}$	29.9
AlPO_4	$\text{AlPO}_4 = \text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-}$	17
Variscite	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$	21.8
Strengite	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$	26.4
Vivianite	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} + 8\text{H}_2\text{O}$	37.6

Kvælstof (N) tabes

Organisk kulstof (C) som fremmer god jordstruktur tabes

Uønskede organiske fremmedstoffer fjernes eller reduceres

I Tyskland er det besluttet at der skal laves mono-incineration af slam fra anlæg > 30.000 PE. Det vurderes at 4 doble omkostningerne i forbindelse med håndtering af slammet

Det er endnu uafklaret hvordan det sikres at det bundne P skal recirkuleres

De miljømæssige fordele ved afbrænding fremhæves kraftigt, men hvad med ulemperne?

- Værditab af næringsstoffer (navnlig P og N)

- Anvendelse af energi

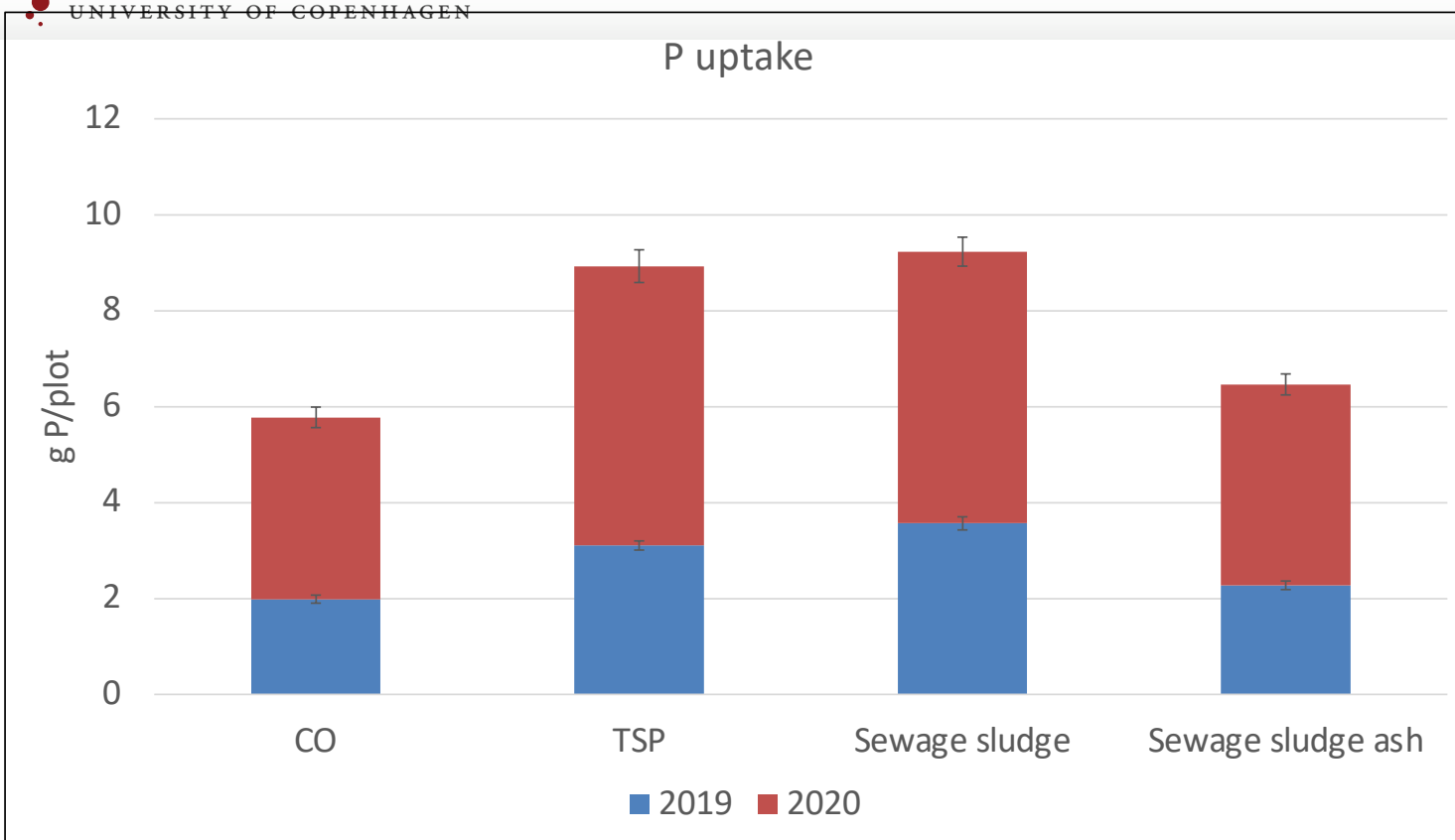
- Anvendelse af kemikalier

The Frame Trial at Højbakkegaard



Treatments (4 replikates):

- TSP (20.8% P)
 - Biofos ash (8.1% P)
 - Biofos sludge (3.6% P)
 - And others not included here...
- Materials added at the rate of 300 kg P/ha
 - Supplementary annual fertilization: 250 kg K/ha, 400 kg N/ha all treatments (split 3 times)
 - Crop: ryegrass, 3-4 harvests annually



Apparent recovery %	2019	2020	Total
TSP	4.7	8.6	13.4
Sewage sludge	6.7	8.0	14.7
Sewage sludge ash	1.2	1.7	2.9

Nogle spørgsmål ifm cirkulær økonomi ...

Skal vil investere betydelige økonomiske ressourcer (herunder kemikalier og energi) i afbrænding af vores restprodukter?

Gælder det i så fald også for husdyrgødning?

Eller skal vi leve med en accept af at påtage os en stærkt begrænset risiko for at maksimere recirkulering?

Tak for opmærksomheden