



Vandkvalitet, rensning af regnvand, BAT og fremtidsudsigter

Jes Vollertsen

Professor i Miljøteknologi

Aalborg Universitet

Kan regnvand have negativ effekt på miljøet?

Ja, nogen gange

Potentielle effekter af 'almindeligt' vejvand:

- Fysiske skader gennem hydraulisk erosion og tilsanding
- Eutrofiering af søer og lukkede fjorde
- Salt udledt til ferske vande
- Opvarmning af små, kolde vandløb
- Toksiske effekter i sedimenter (ofte)
- Toksiske effekter i vandet (sjældent)

Særligt forurennet vand (fx vand fra tunnelvask):

- Toksisk effekt i vandfasen på nær-recipienten

Kan regnvand have negativ effekt på miljøet?

Det er sjældent man ser direkte årsags-virkningssammenhæng mellem afstrømmet regnvand og negativ effekt på miljøet – men derfor kan der jo godt være skjulte effekter ...

Billedet stammer fra en ulovlig industriudledning til en lille sø



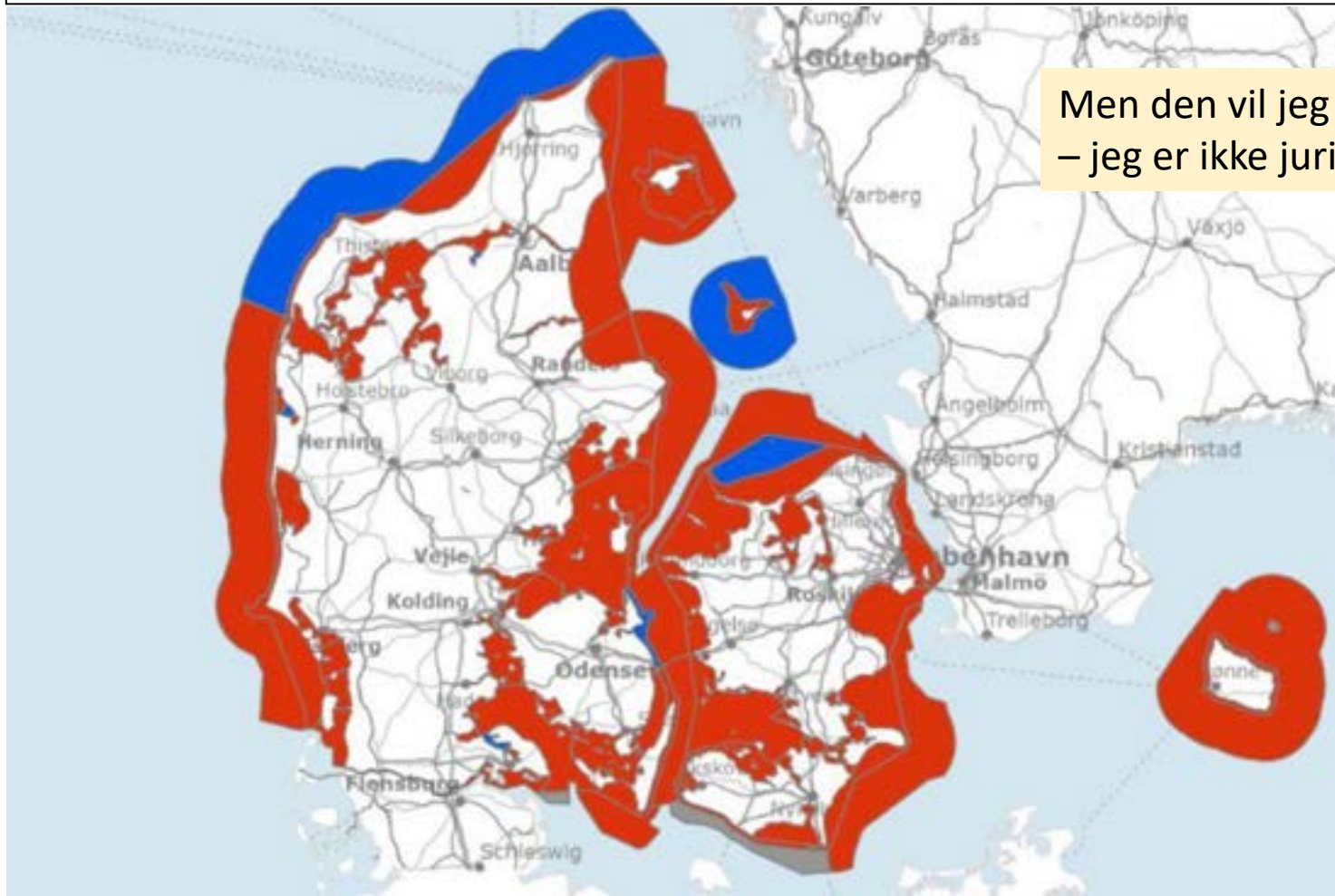
Kan regnvand have negativ effekt på miljøet?

Kun i sjældne tilfælde er der akut toksisk effekt. Fx ved rengøring af tage eller ulovlige udledninger



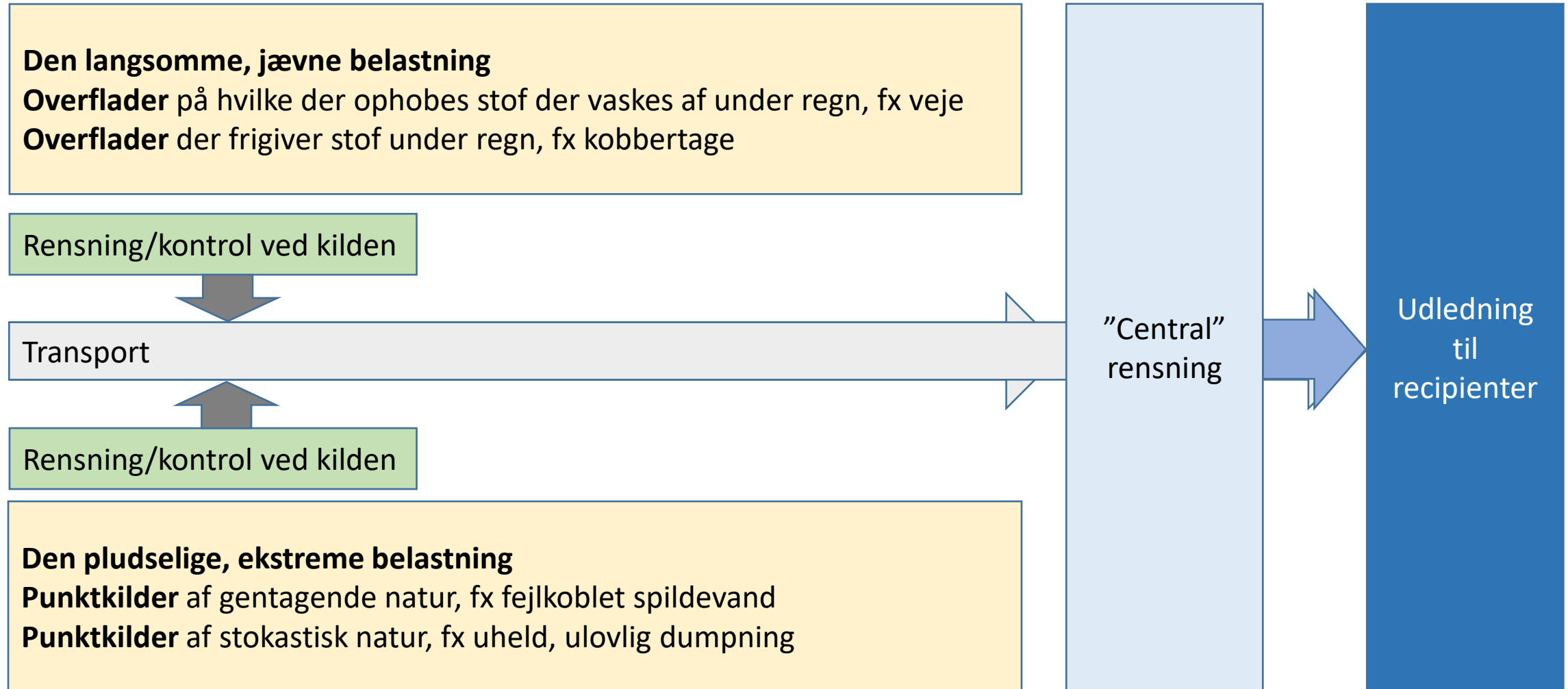
Men i dag er det jo ikke kun et spørgsmål om der er en effekt

Høring over udkast til ændringer i Miljøstyrelsens Vejledning 9053 af 21. december 2021 "Spørgsmål og svar om udledning af visse forurenende stoffer"



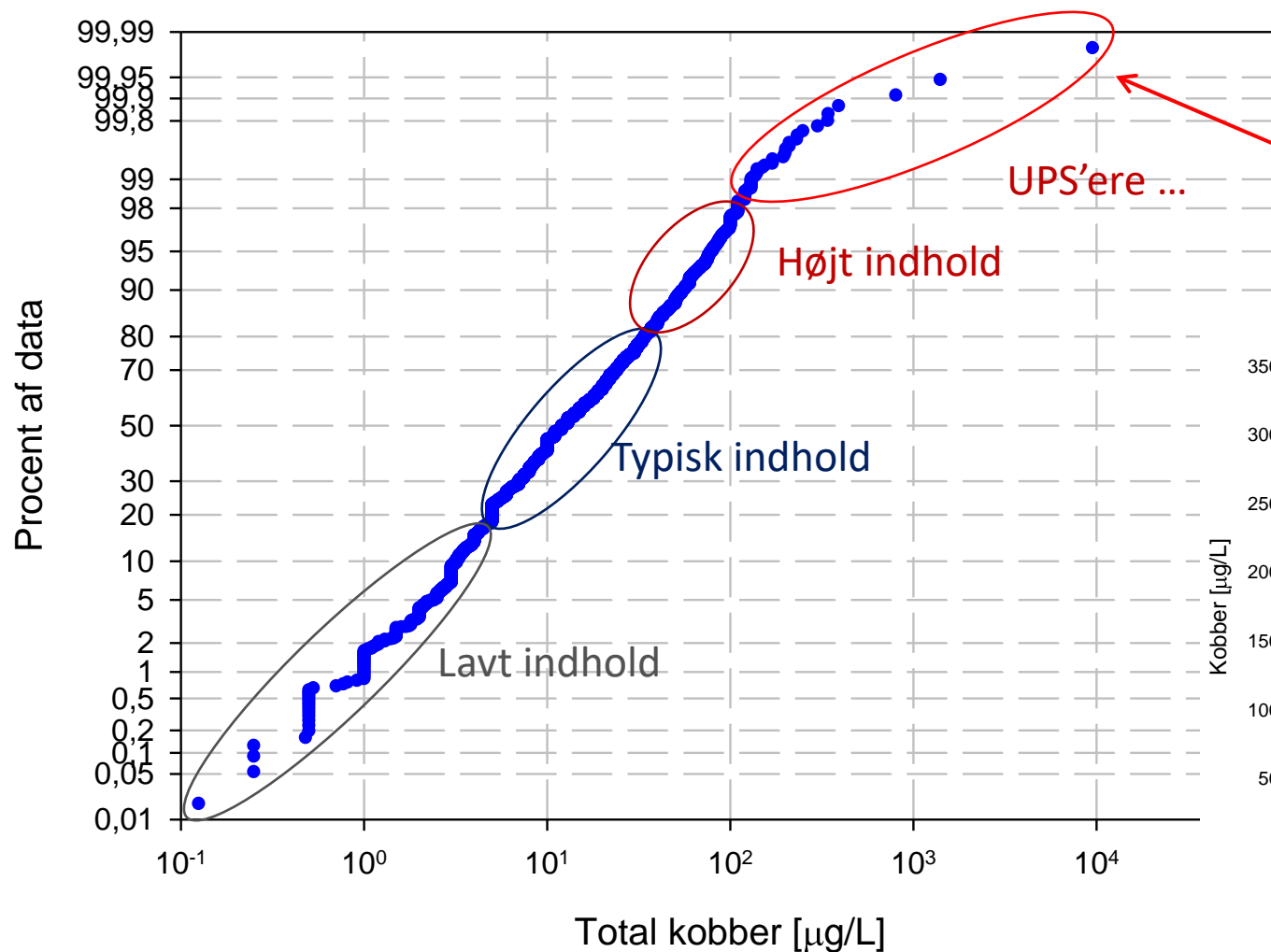
Men den vil jeg ikke snakke om – jeg er ikke jurist

Regnvand og dets forurening



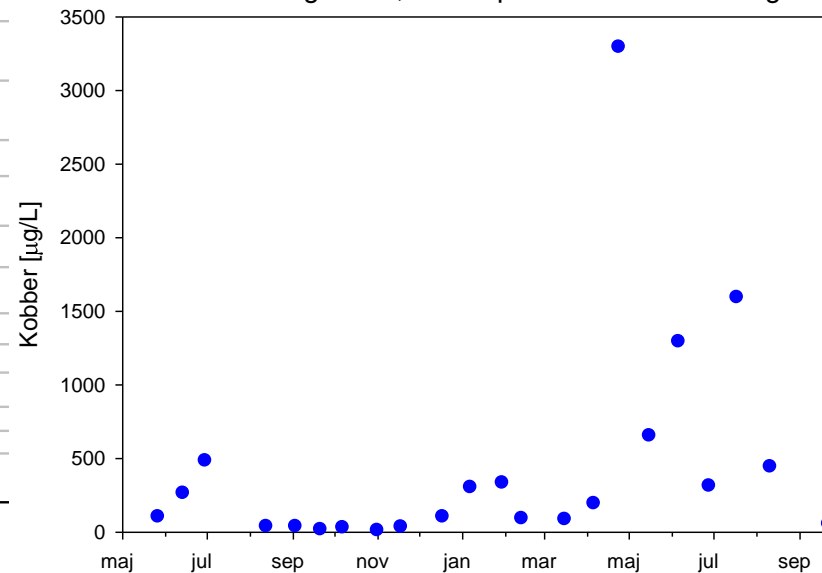
Ekstreme udledning sker kun ganske sjældent

Kobber i afstrømmet regnvand
2787 prøvetagninger fra mange steder i USA og Canada



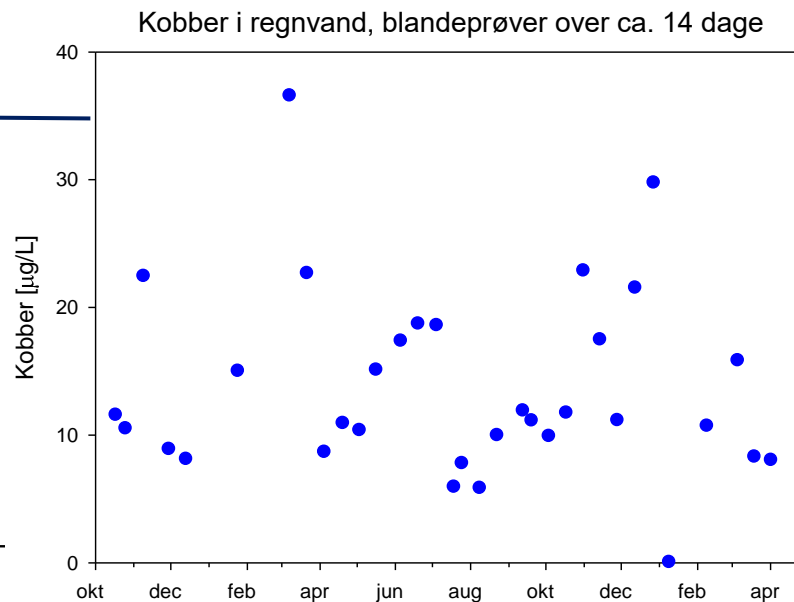
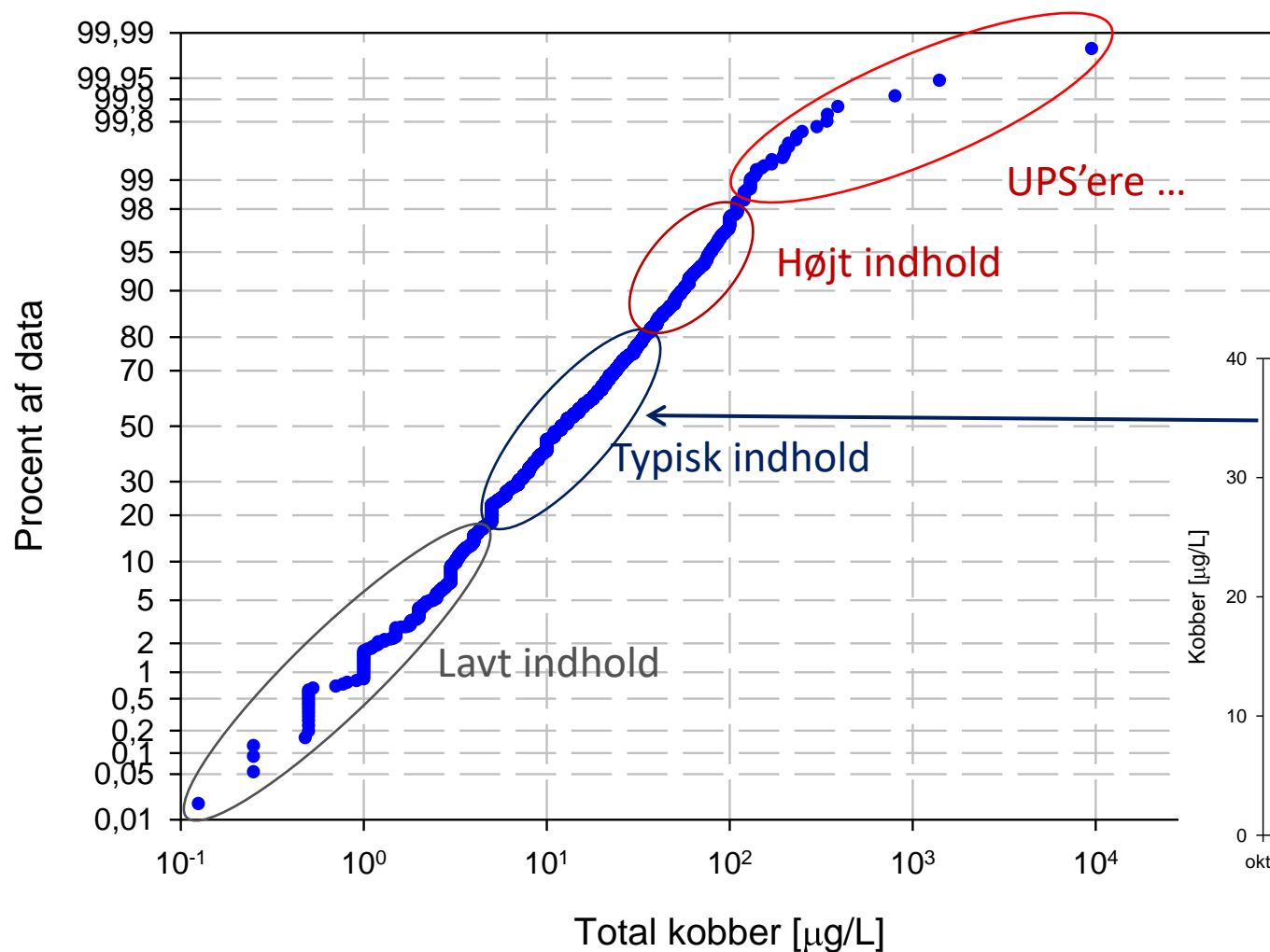
Industriområde i Odense
med ulovlig udledning

Kobber i regnvand, blandeprøver over ca. 14 dage



Almindelig udledning

En almindelig lille landsby, Lemming ved Silkeborg



Hvad med dyr, der lever i regnvandsbassiner?



Vi har sammenlignet våde regnvandsbassiner og naturlige småsøer



Man kan vel formode, at effekten på dyre og planteliv må være større i rent regnvand, end når regnvandet er kommet ud i en recipient

Så derfor:

Hvilken forskel er der på dyre- og planteliv i disse systemer



Invertebrates in stormwater wet detention ponds – Sediment accumulation and bioaccumulation of heavy metals have no effect on biodiversity and community structure

Diana Agnete Stephansen ^{1,*}, Asbjørn Haaning Nielsen ², Thorikild Hvitved-Jacobsen ³, Morten Lauge Pedersen ⁴, Jes Vollertsen ⁴



Diversitet af invertebrater

Fauna collected in the stormwater retention ponds and the natural shallow lakes. 'x' indicates when species were collected in sufficient quantity to allow determination of elements.

	Ponds									Lakes											
	Residential			Commercial			Highway			City lake	Agriculture				Plantation				Forest		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	
Molluscs																					
<i>Lymnaea</i> sp.	x	x	x			x	x	x	x					x							
<i>Bithynia</i> sp.		x		x																	
<i>Planorbis</i> sp.									x												x
<i>Schizodonta</i> indet.									x				x	x							x
Dragonflies																					
Anisoptera indet. ^a	x				x	x	x	x		x					x	x	x	x	x	x	x
Anisoptera indet. ^b				x	x		x		x	x			x		x	x	x	x	x	x	x
Zygoptera indet.	x			x		x		x					x	x	x	x		x			x
Composites																					
<i>Asellus aquaticus</i>	x	x																			
<i>Notonecta</i> sp.																					
Trichoptera	x																			x	x
<i>Ilyocoris cinctoides</i>																					
Hirudinea																					x
<i>Dysticus marginalis</i>																					x
Ephemeroptera	x	x																			x
<i>Nepa cinerea</i>																					
<i>Agabus uliginosus</i>																					x
Copepoda indet.																					
<i>Ranatra linearis</i>																					
<i>Micronecta</i> sp.																					
Chironomidae indet.		x																			
<i>Coryta hieroglyphica</i>		x																			
<i>Stalys</i> sp.																					
Fish fry	x																				
<i>Triturus</i> sp.																					
Ranidae indet.																					
Observations		c		d	e		f			g	h	i		j		k	l		m	n	

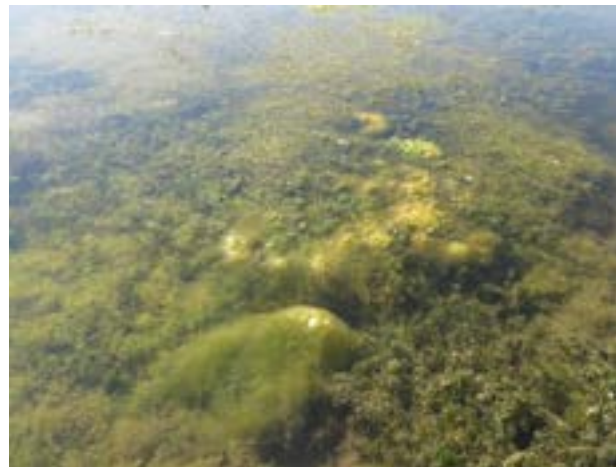
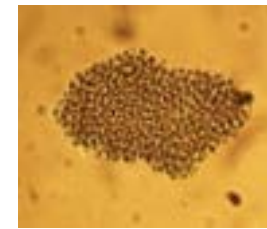
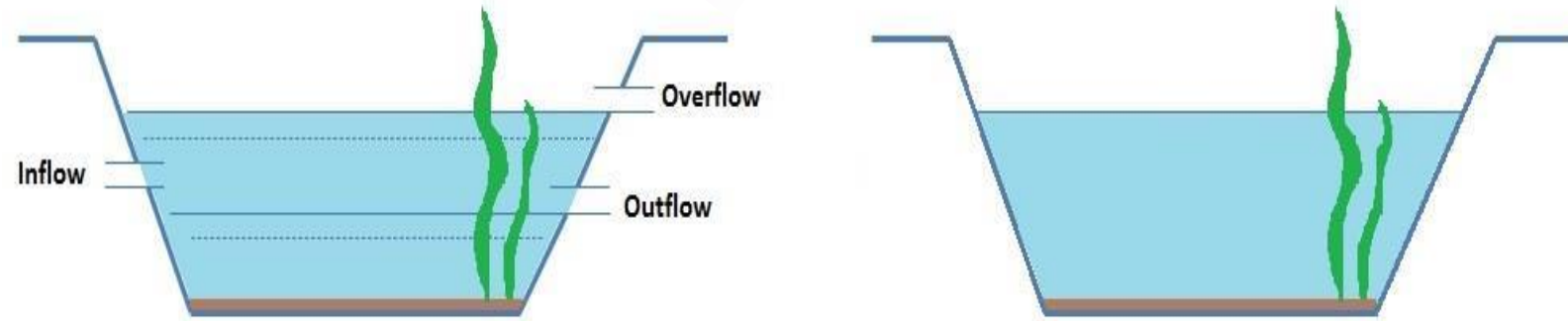
Der var samme biodiversitet i systemerne
 Altså samme dyr og antal arter i
 våde regnvandsbassiner som naturlige småsøer

Kilde: Distribution of metals in fauna, flora and sediments of wet detention ponds and natural shallow lakes, Stephansen DA, Nielsen AH, Hvitved-Jacobsen T, Arias CA, Brix H, Vollertsen J, Ecological Engineering (in press)

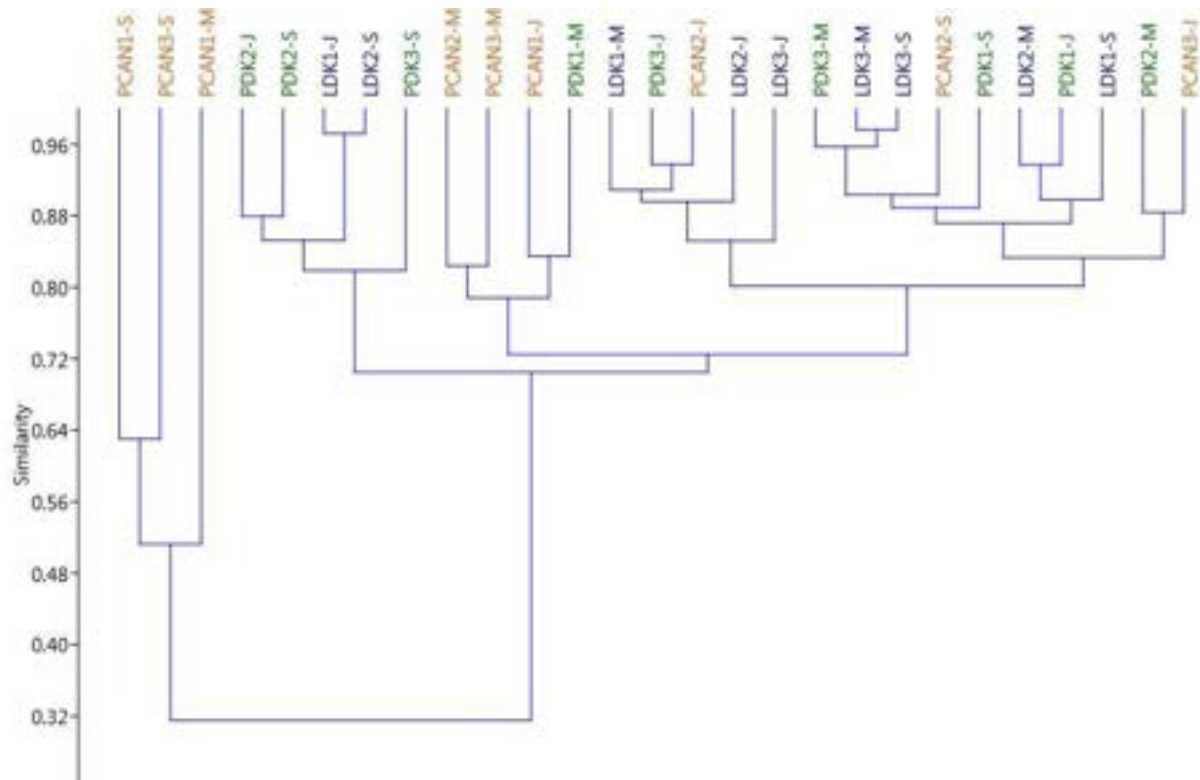
På tilsvarende vis med alger

Regnvandsbassiner

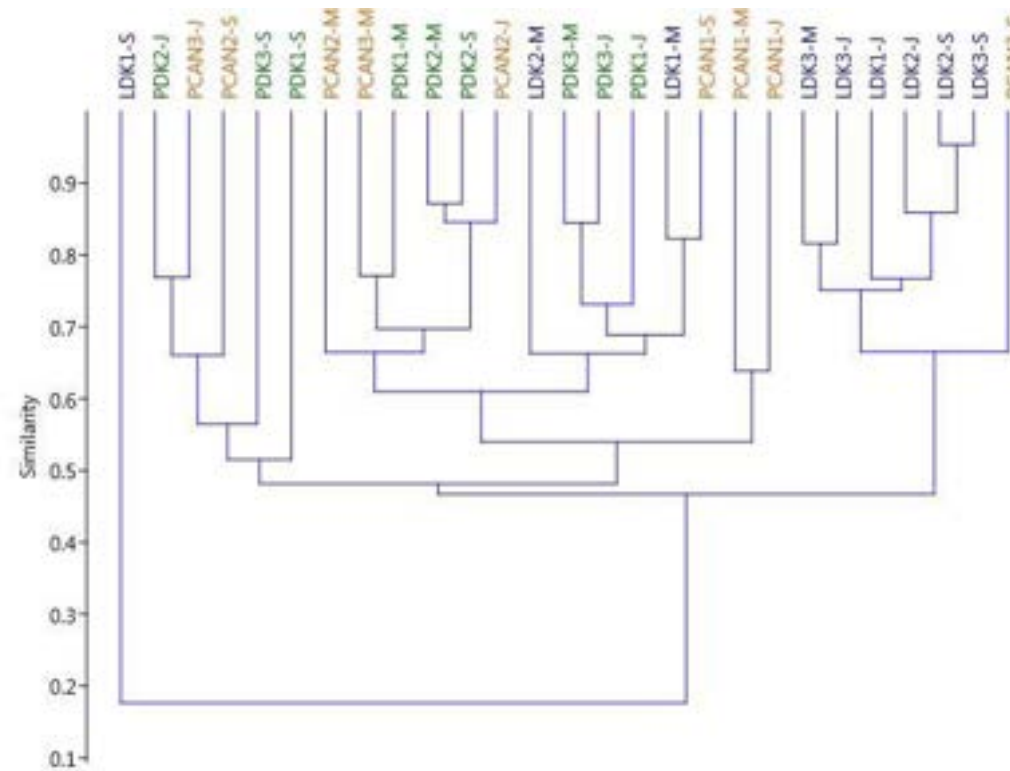
Naturlige småsøer



Antal organismer Bray-Curtis cluster analyse



Biovolumen Bray-Curtis cluster analyse



Ingen statistisk forskel mellem bassiner og søer
Diversitet afhænger mere af tid på året end hvilket vandsystem der er tale om
Våde regnvandsbassiner er gode habitater for planktoniske alger

Nogen gange er der effekter, andre gange er der ikke



Det er svært at forudsige hvornår der sker effekter

Det er svært at forklare hvad de skyldes

Biocider fra urbane facader



Organisk basseret puds



Maling

Fugemasse



Træbeskyttelse



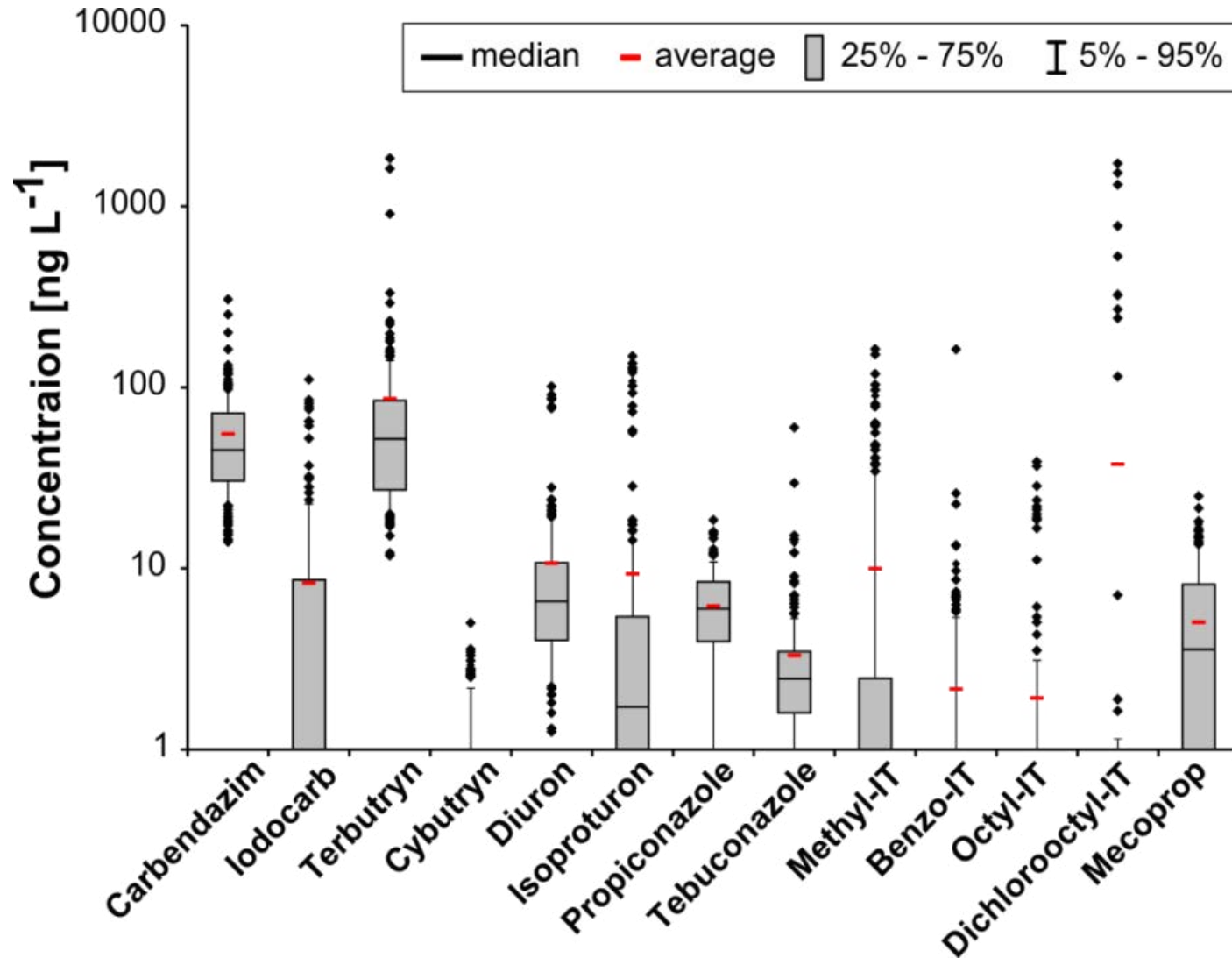
Kvantificering for et forsøgsopland



Biocidkoncentrationer målt semi-kontinuert i afstrømmet regnvand over 8 måneder



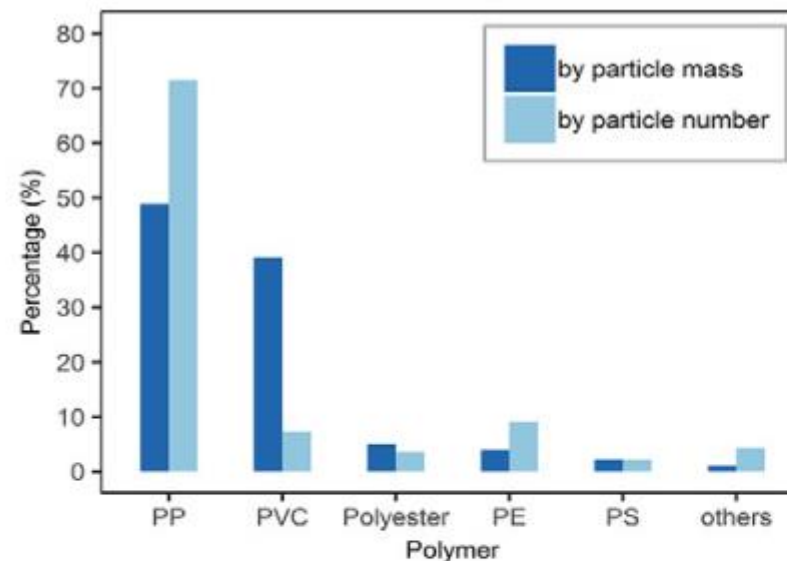
Måling over ½ år, meget høj tidsopløsning



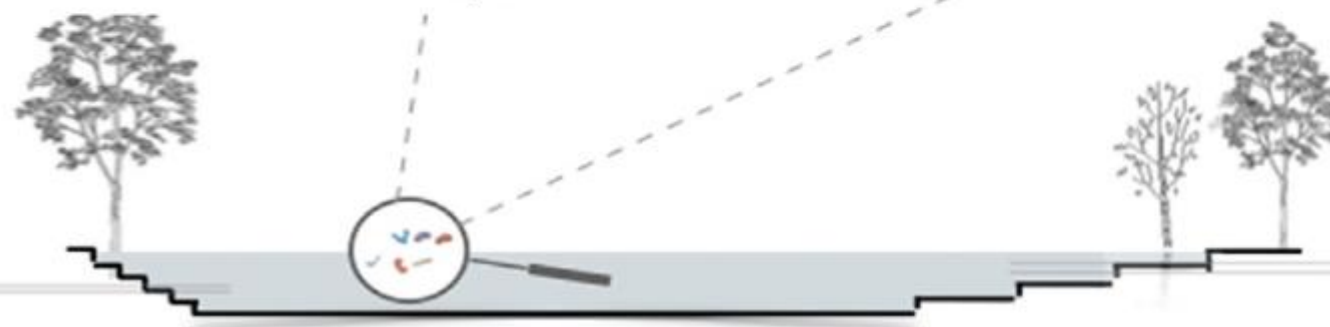
Alle værdier var under EU's kravværdier for biocider i recipienter



Hvad så med det seneste, fx mikroplast



	Item m ⁻³	µg m ⁻³
R1	796	186
R2	490	128
R3	1409	231
I1	5249	521
I2	11348	664
C1	22894	1143
H1	494	85



Og et andet datasæt fra Danmark, denne gang inklusive gummi fra bildæk

	Effluent			Sediment		
	Hyperspectrally determined microplastics		Tyre wear material	Hyperspectrally determined microplastics		Tyre wear material
	Count [counts L ⁻¹]	Mass [µg L ⁻¹]	Mass [µg L ⁻¹]	Count [counts g ⁻¹]	Mass [µg g ⁻¹]	Mass [µg g ⁻¹]
Hedensted	9.0 (± 3.3)	3.1 (±2.5)	0.00	279.4 (±34.7)	91.9 (±34.5)	316.5
Lemvig	0.8 (±0.1)	1.5 (±0.5)	0.00	65.0 (±46.3)	22.2 (±14.3)	17.6
Odense	0.3 (±0.1)	0.2 (±0.2)	0.00	88.0 (±32.2)	5.3 (±2.4)	20.0
Mariager	1264.0 (±108.8)	417.6 (±68.9)	21.8	34791.0 (±6187.9)	18199.9 (±4381.3)	857.4



Hvad så med det seneste fokus-stof: PFAS

Meget lidt data på hvad der er i regnvand

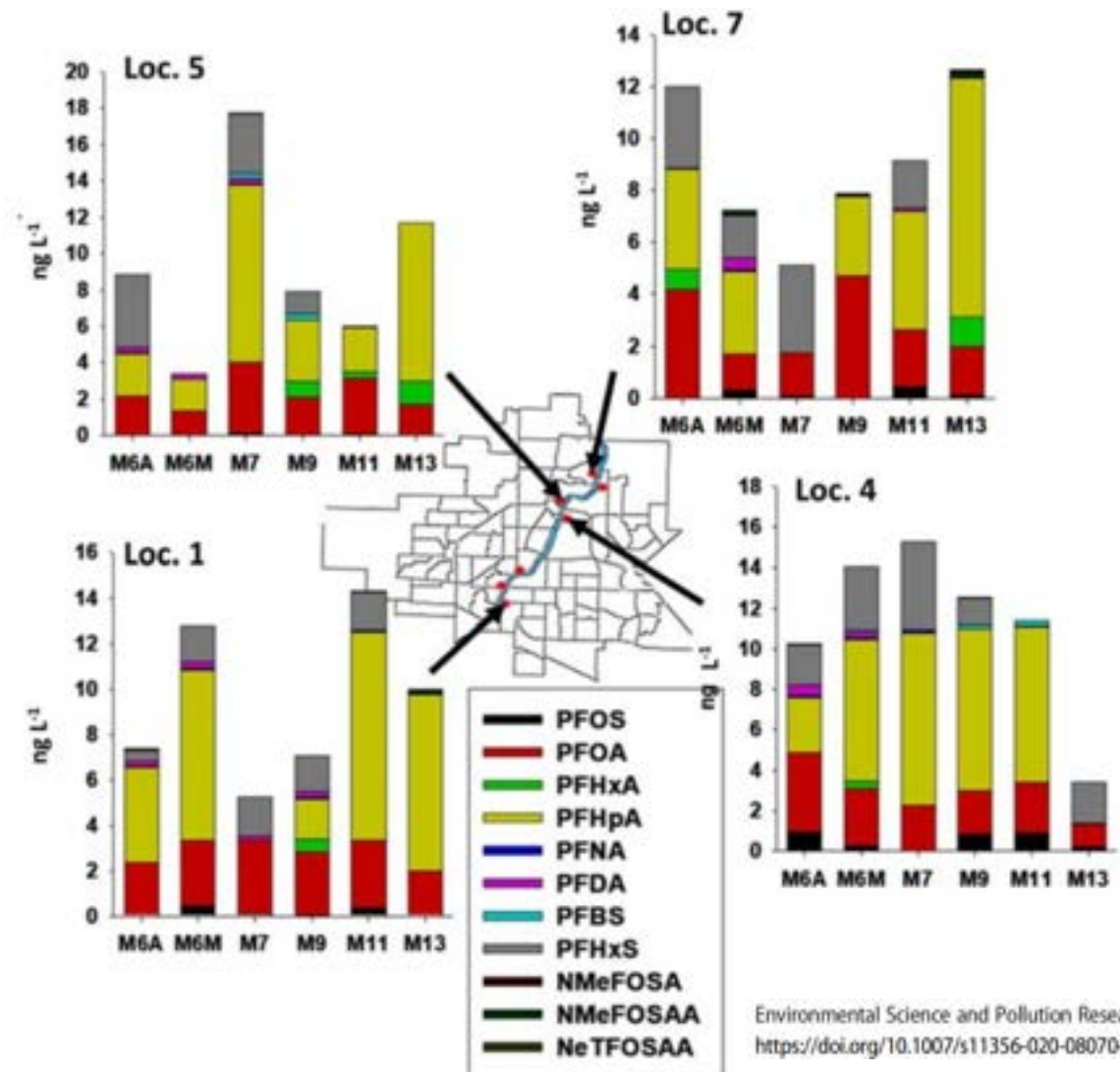
Tabel 15.1. Miljøkvalitetskrav for PFAS i overfladevand (Miljø- og Fødevarerministeriet 2017b).

	Vand (vandløb, søer og havet) (µg/l)				Biota (µg/kg VV)
	Generelt kvalitetskrav		Maksimumkoncentration		
	Fersk	Marin	Fersk	Marin	
PFOS	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	36	7,2	9,1

En amerikansk undersøgelse af PFAS i regnvand fra snesmeltning

Fig. 4 Poly- and per-fluorinated compounds (PFAS) in stormwater from snowmelt during 7 days of sampling in 2013, at 4 locations within the city of Saskatoon (Locs. 1, 4, 5 and 7). For M6, morning and afternoon samples were collected, while for all other days, a mid-day collection was performed

PFOS er den sorte bjælke



En amerikansk undersøgelse af PFAS i sediment fra regnvandsbassiner

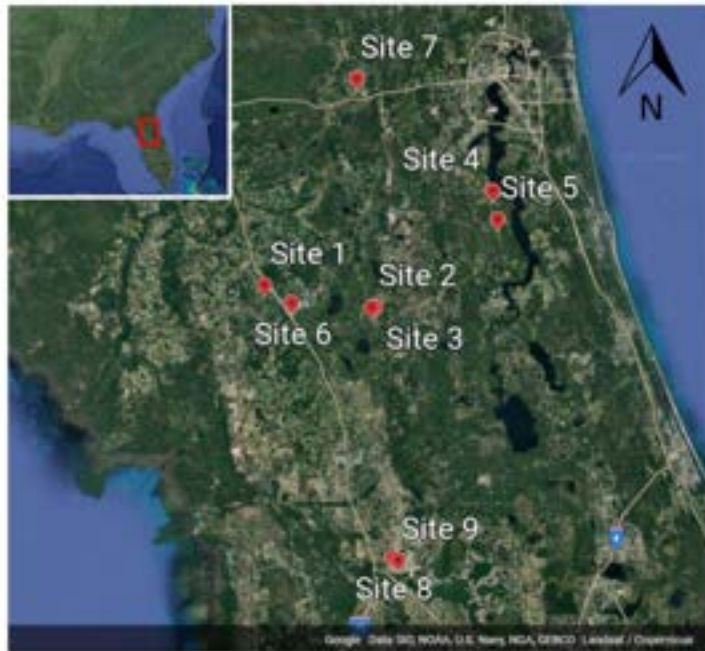


Fig. 1. Map showing the nine stormwater ponds that sediment samples were taken from to monitor the 51 PFAS. (Base map from Google Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO Landsat/Copernicus.)

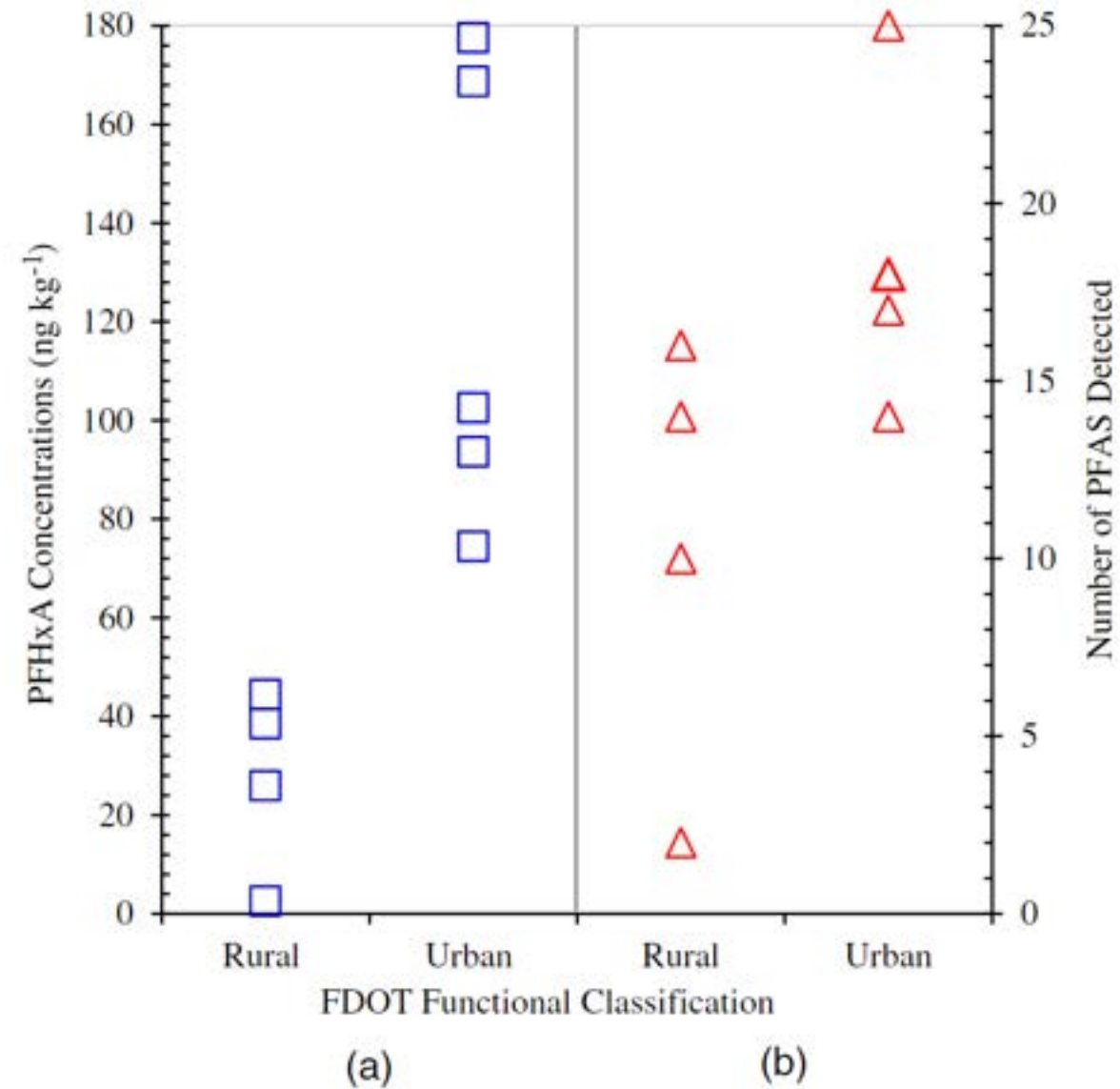


Fig. 3. PFHxA concentrations (ng kg⁻¹) in sediment (A) and the number of individual PFAS present (B) at each site using the FDOT functional classification of the nearest roadway. The two classification groups were found to be significantly different in the number of PFAS detected and PFHxA concentrations.

Men hvad kan vi så gøre ved det?



Teknologier til rensning

- Hovedparten af stof i regnvand er partikulær
- Hvis man fjerner partikulært stof, fjerner man dermed hovedparten af forureningen
- Men fjerner man også hovedparten af den toksiske effekt ???

Der er mange afarter af tekniske løsninger

Våde regnvandsbassiner

Konstruerede vådområder

Grønne filterstriber og grøfter

Nedsivningsbassiner

Permeable belægninger

Filteranlæg

Grønne tage

Tørre bassiner (forsinkelsesbassiner)

Tekniske installationer så som hvirvelseparatorer, tromlesigte, ...

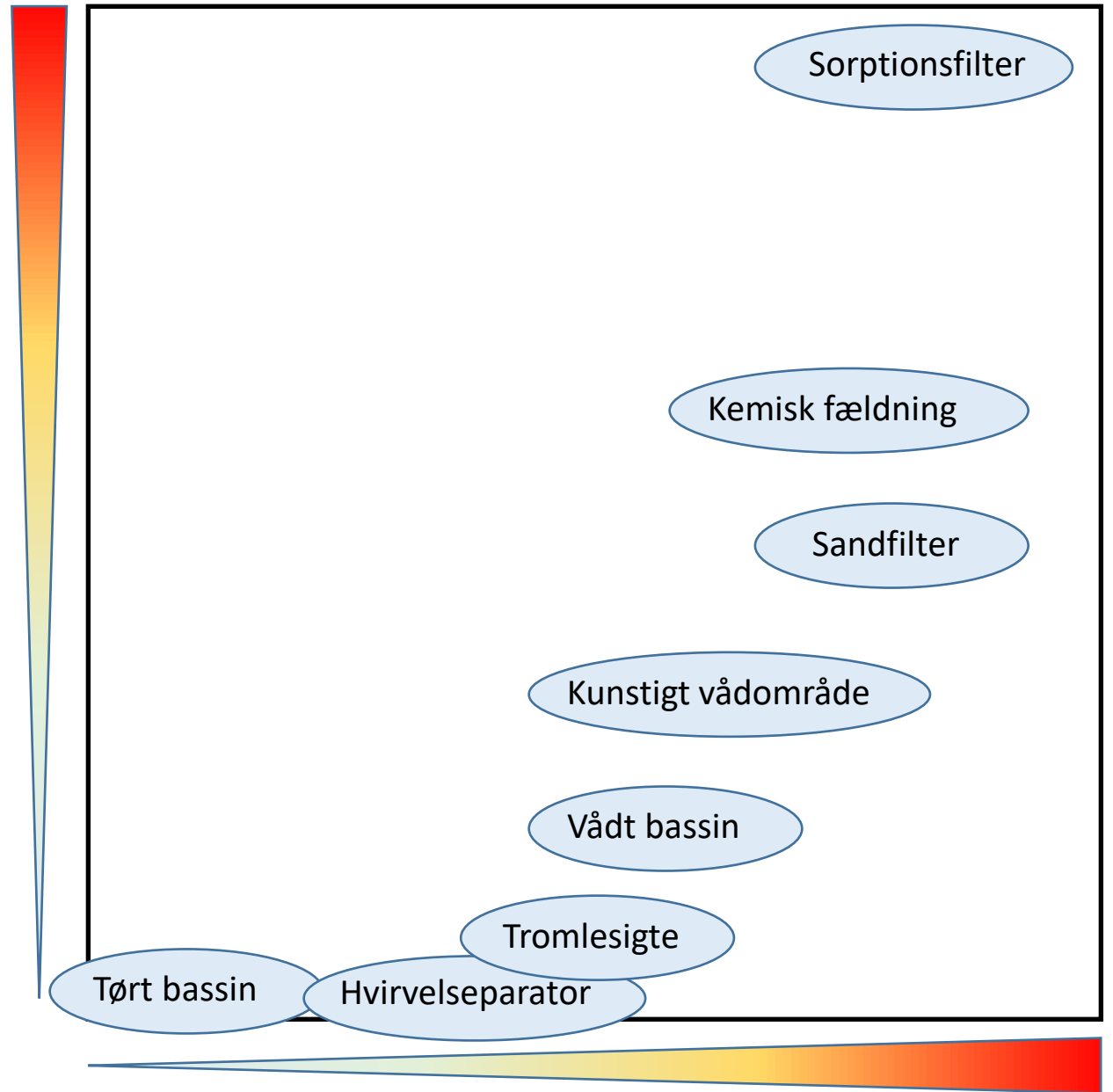
Tekniske installationer så som vejbrønde, olieudskillere, ...

...

...

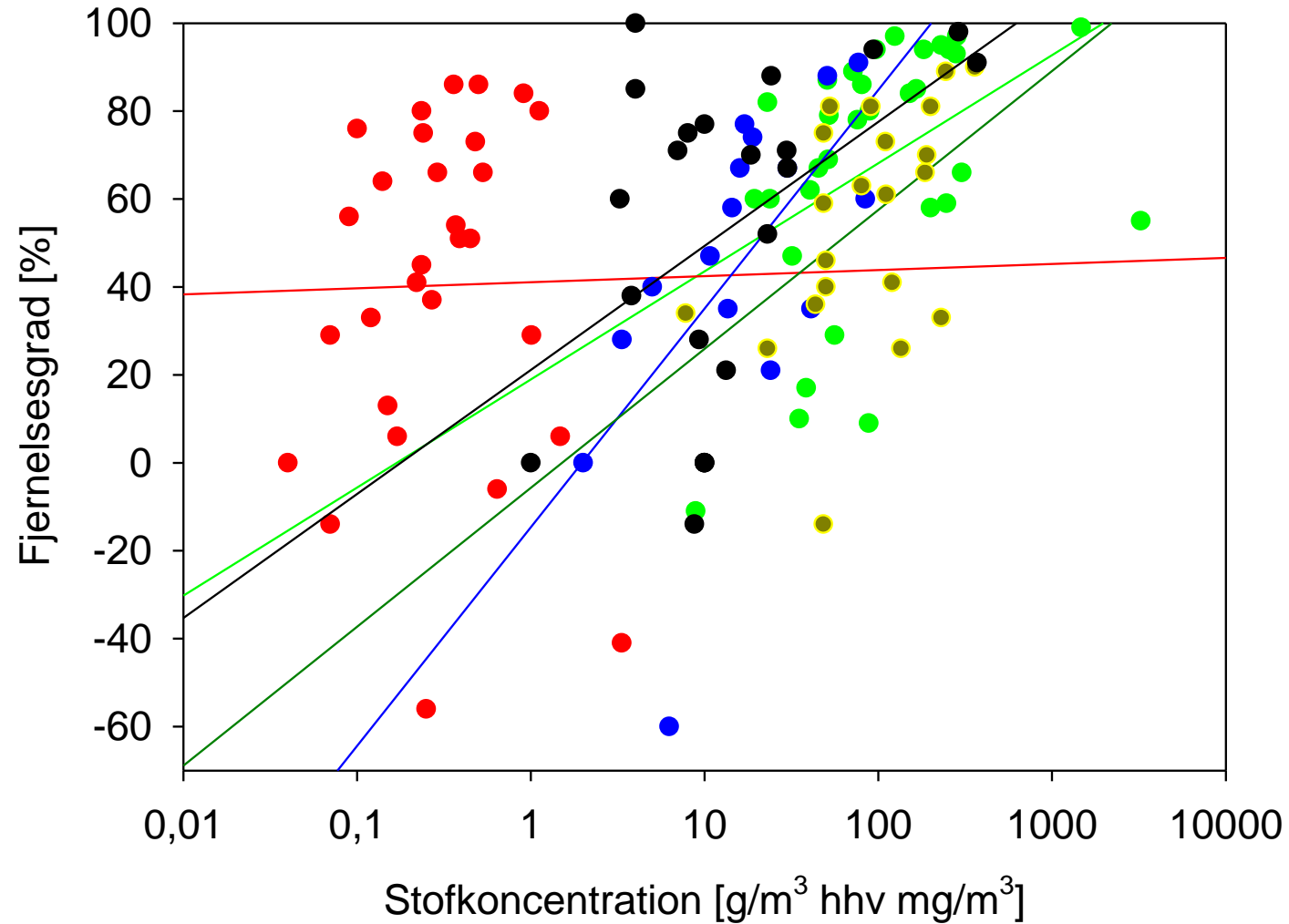


Fjernelse af opløst stof

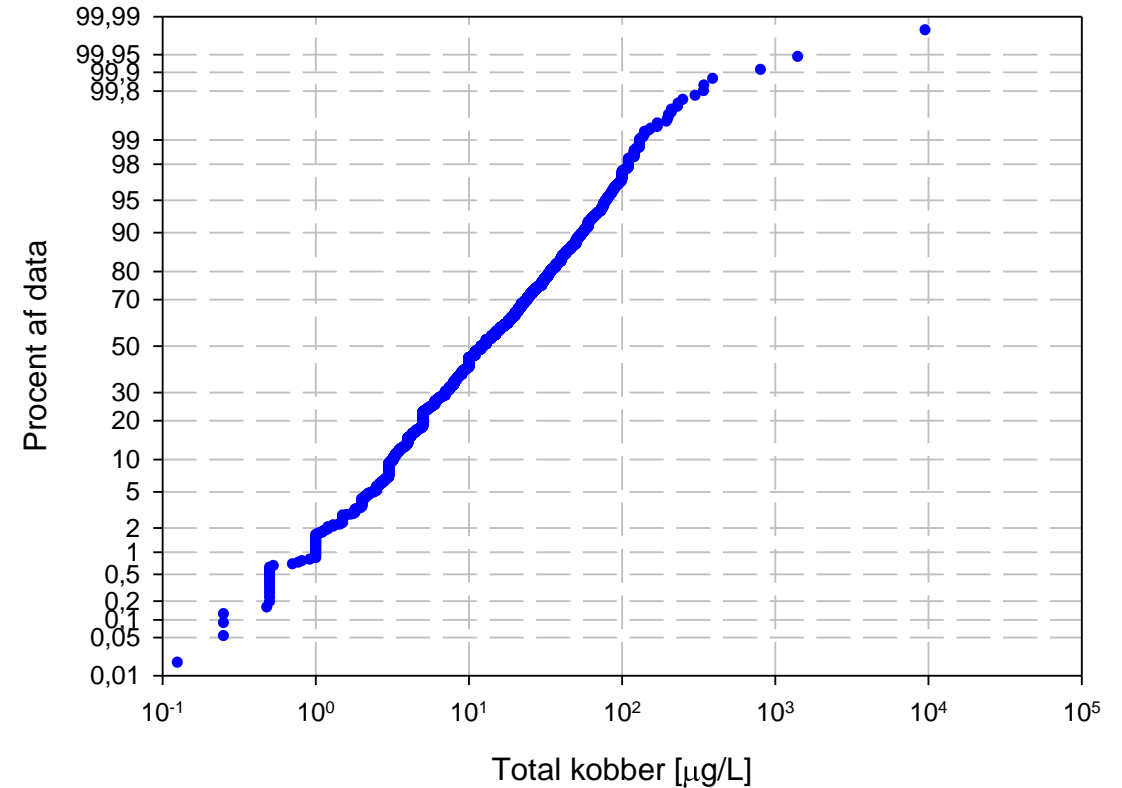
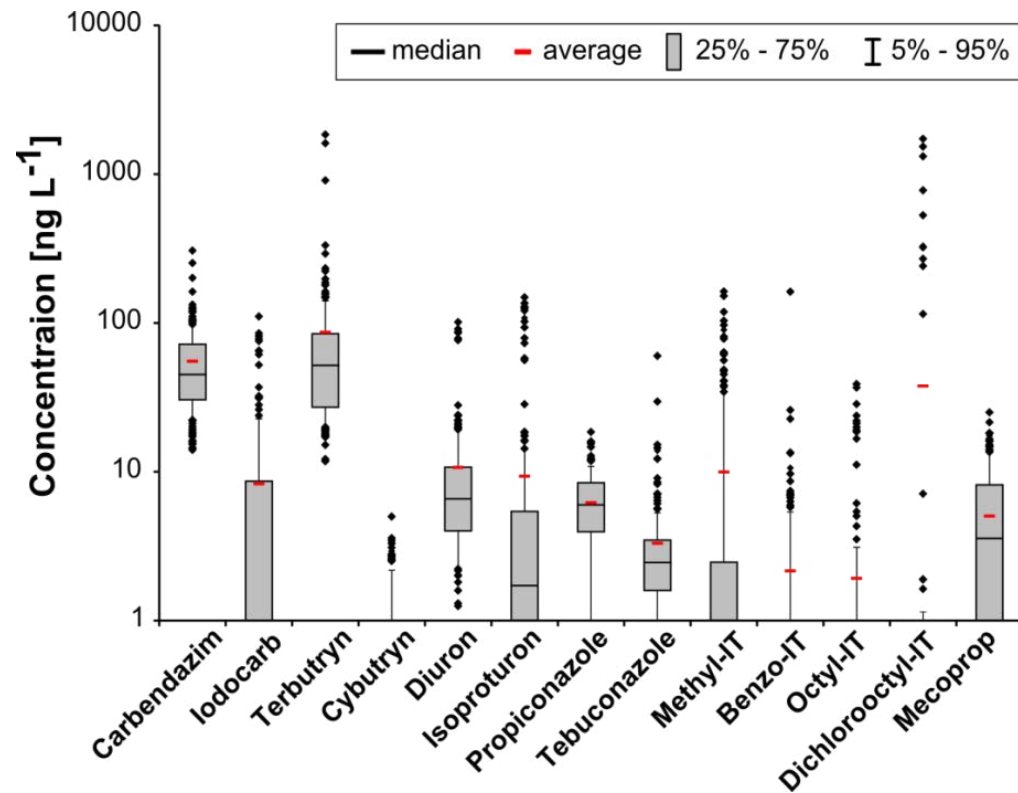


Fjernelse af partikulært stof

Rensegrader – fy føj



Målinger versus typetal – hvilken variation kan man forvente? Hvor intensivt skal man måle for at få en “site mean concentration”?



Udfordringer for teknologierne

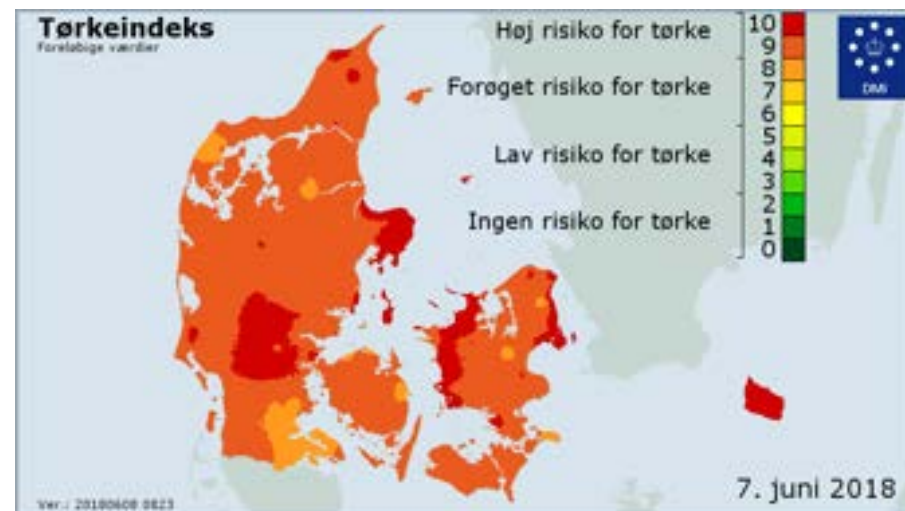
Det regner stort set aldrig

Af og til regner det voldsomt

Man kan ikke rense uden at tilbageholde vandet et stykke tid

Rensning af regnvand kræver derfor plads

Plads er en mangelvare, især i den tætte by

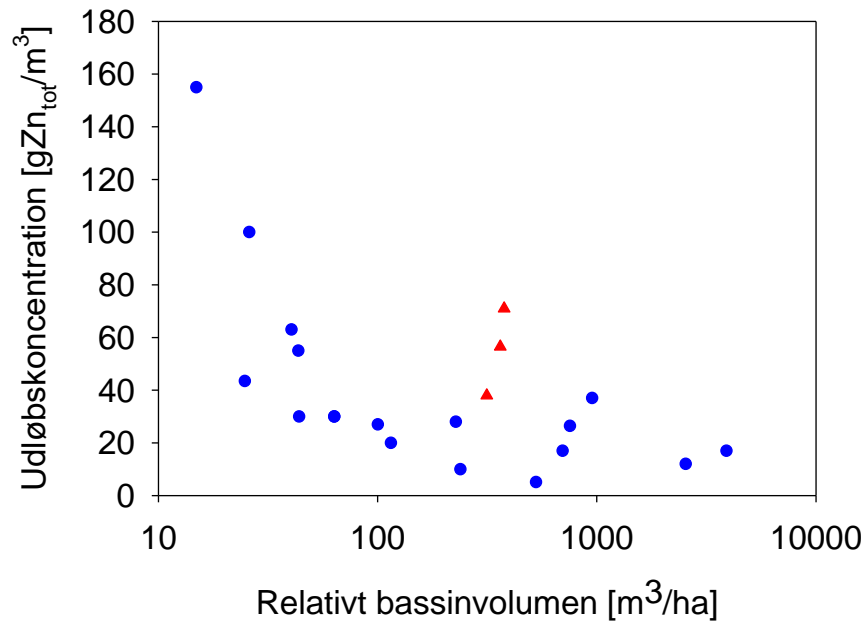
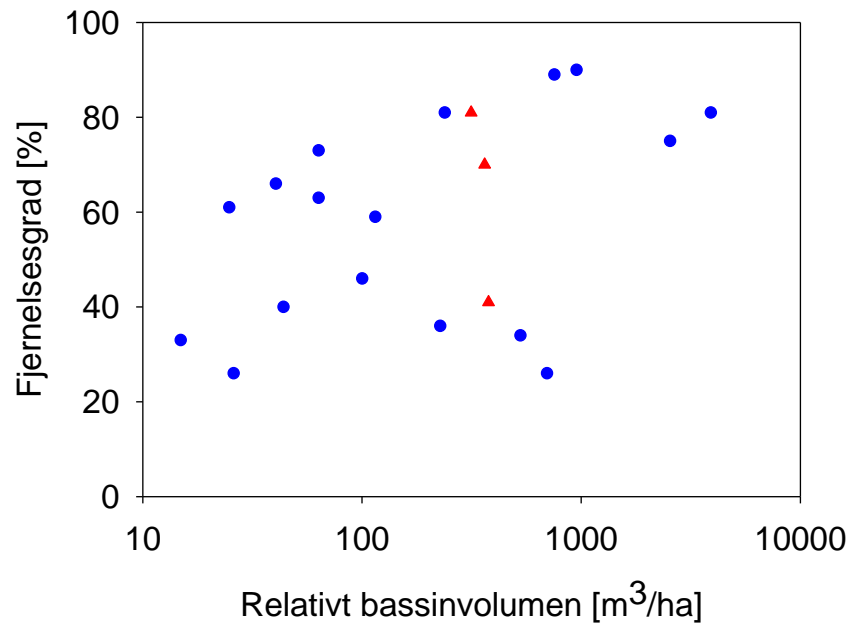
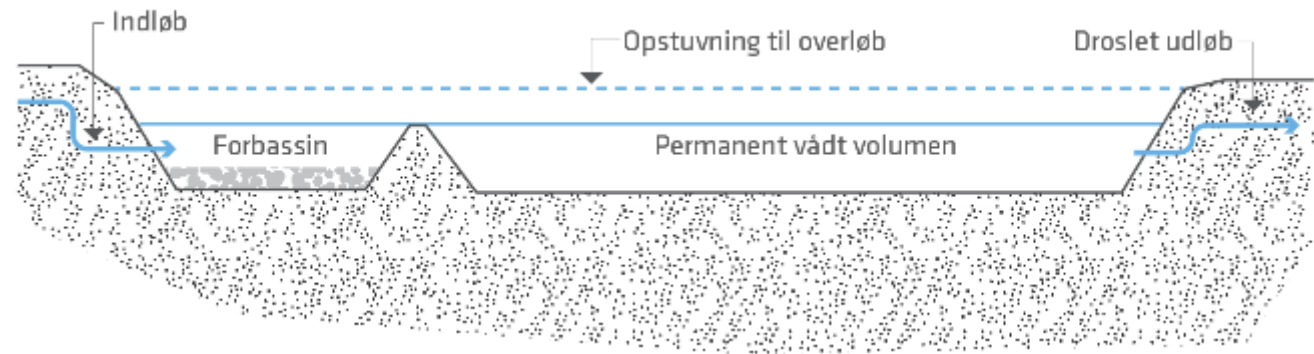


Renseløsninger falder i et par grundlæggende kategorier

- Løsninger der fungerer ved bundfældning
 - Den mest almindelige er de våde regnvandsbassiner
 - Andre er kunstigt vådområde, sedipipe, tørre bassiner, hvirvelseparator, vejbrønd, olieudskiller, osv
- Løsninger der fungerer ved filtrering
 - De mest almindelige er infiltrationsanlæg, nedsivningsanlæg, sandfiltre
 - Andre er tromlesigter, permeable belægninger, grønne tage, regnbede, osv
- Løsninger der fungerer ved kemisk fældning eller sorption
 - Der er ikke mange i brug af denne slags, men de findes
 - Fx kommercielle produkter som Actiflo (Veolia), Densadeg (Suez), Dobbeltporøs filtrering (WaterCare)
 - Eller frit tilgængelige koncepter som 'filteranlæg på Silkeborg motorvej' og 'Lemvig klimatorium filter'

Regnvandsbassiner

- God renseseffekt (hvis de er korrekt dimensionerede)
- Billige at anlægge

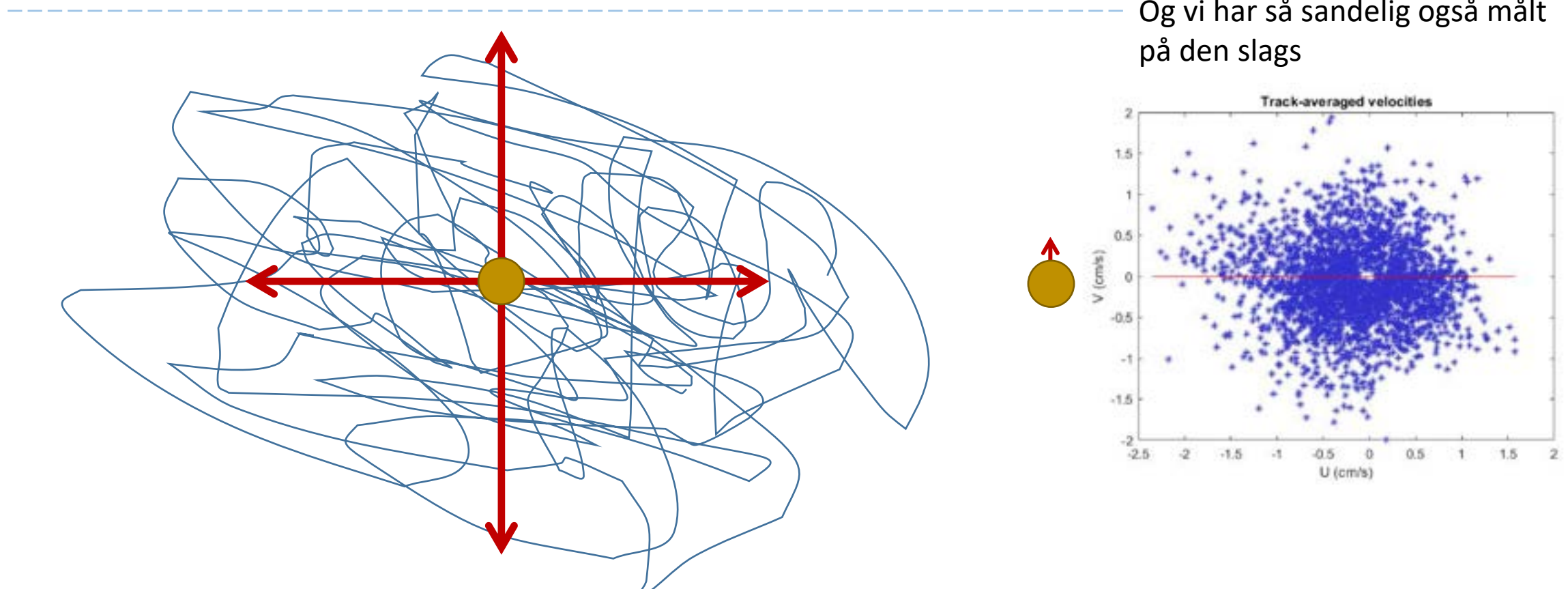


• BMP database
• Bassiner fra litteratur



Hvorfor ender lettere-end-vand partikler i sedimentet?

Partiklens turbulente hastighed pga. vandets bevægelse er \gg større end stigningshastigheden i stillestående vand



Filtersystemer

Generelt mere effektive end bundfældningssystemer, da flere partikler fjernes



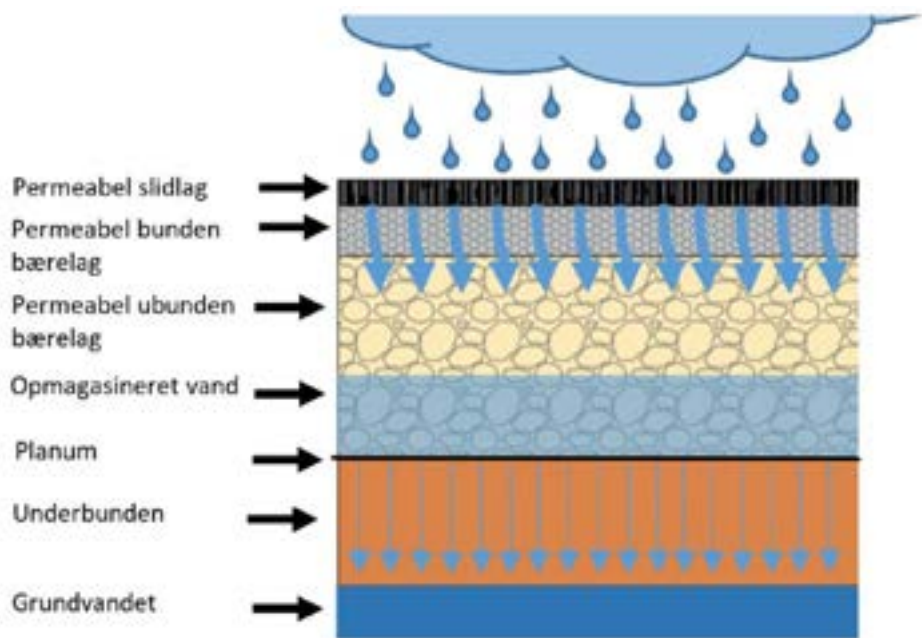
Fine partikler sætter sig fast i porerne på det grovere materiale (kolmationslag)

Partikler lægger sig ovenpå jorden som et lag af sediment

Den hydrauliske ledningsevne ender med at blive styret af dette lags ledningsevne, og altså IKKE den underliggende jords ledningsevne



Løsning der virker ved filtrering, fx Permeabel asfalt



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

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

Permeable pavements: A possible sink for tyre wear particles and other microplastics?

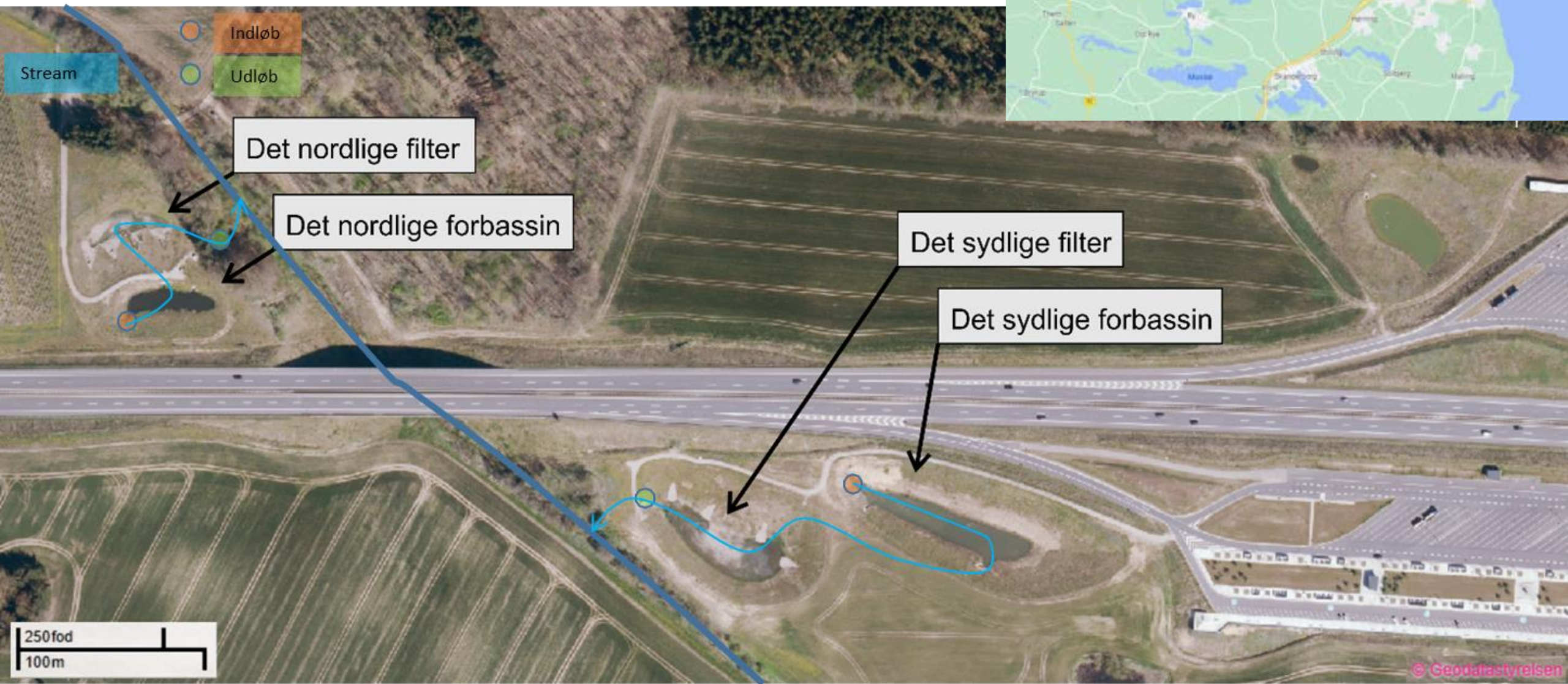
Lasse Abraham Rasmussen^{a,*}, Jeanette Lykkemark^b, Theis Raaschou Andersen^b, Jes Vollertsen^a

^a Department of the Built Environment, Aalborg University, 9220 Aalborg Øst, Denmark

^b VSL University College, Research Centre for Built Environment, Energy, Water and Climate, Børglumsgade 2, 8700 Herning, Denmark

Og den helt store kanon: Bundfældning, filtrering, sorption

- Nogen (enkelte) gange giver det god mening at rense regnvand helt i bund



Fakta boks

Design og levetid

- Levetid >50 år
- Størrelse $\approx 200 \text{ m}^2/\text{red.ha}$
- Hydraulisk kapacitet hvis klogget efter 50 år $> 2.5 \text{ L}/(\text{s red.ha})$

Tørv-sand mix (top lag)



Olivingranulat-sand mix
(del af filter sandwich)



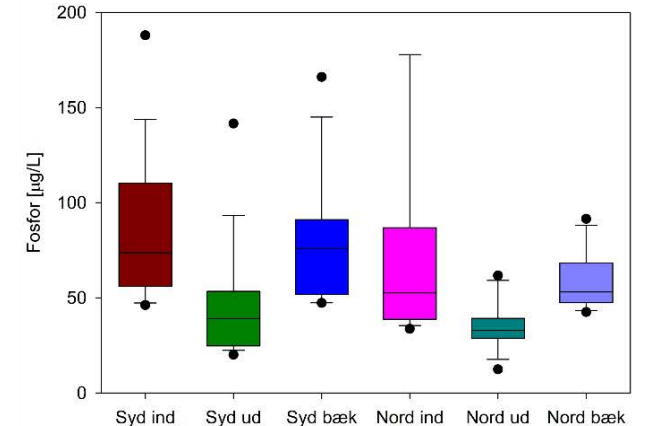
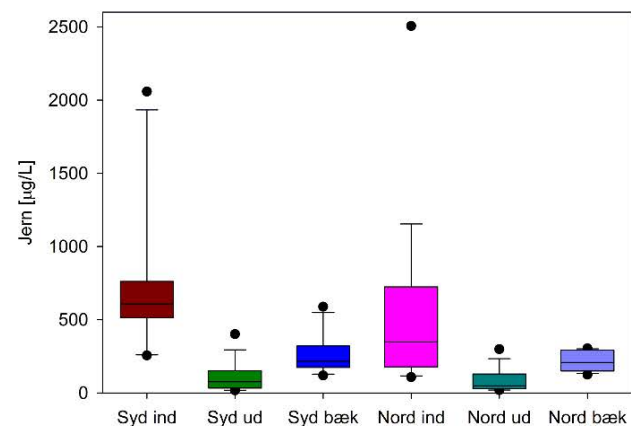
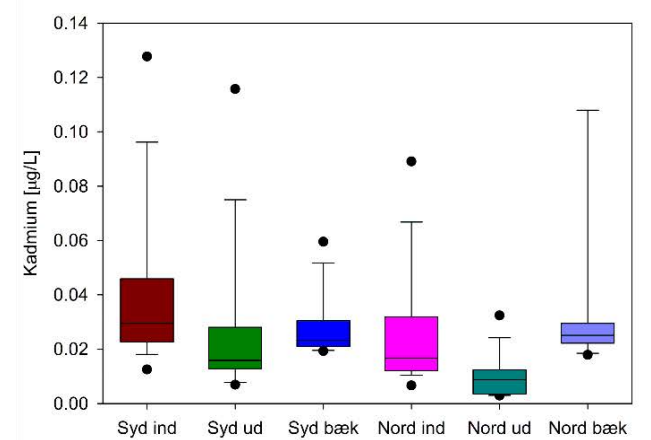
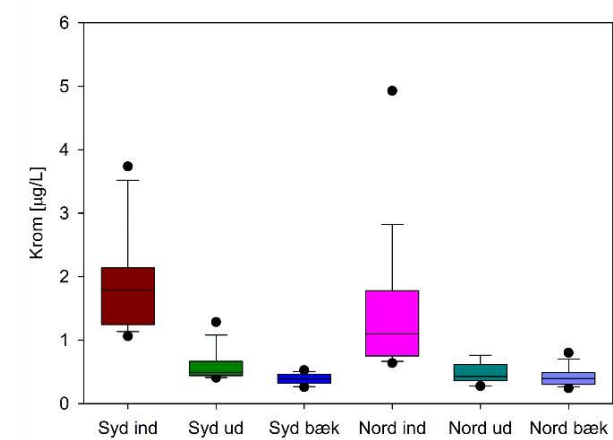
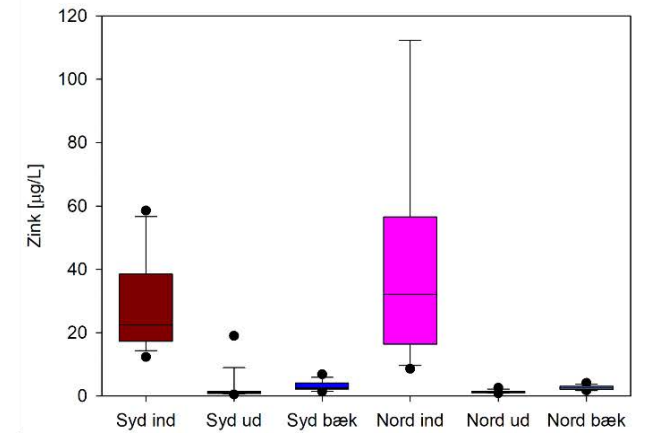
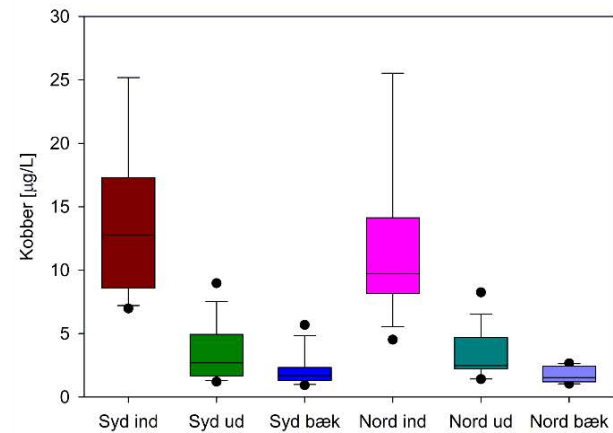
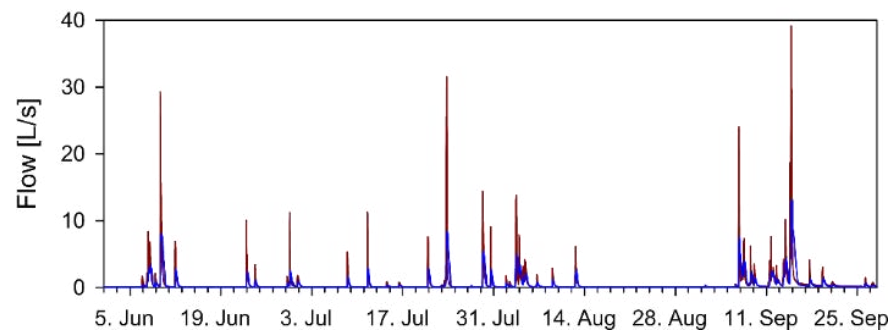
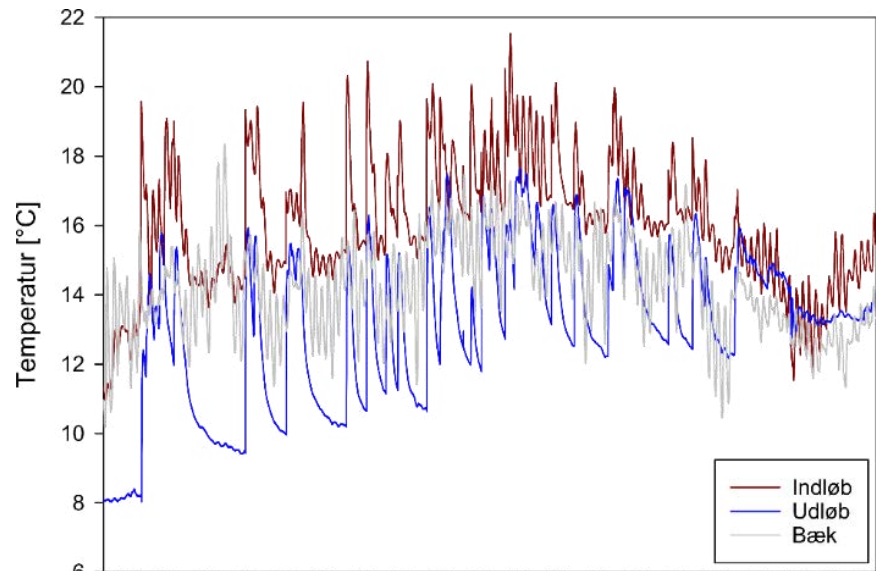
Kalksten
(del af filter sandwich)



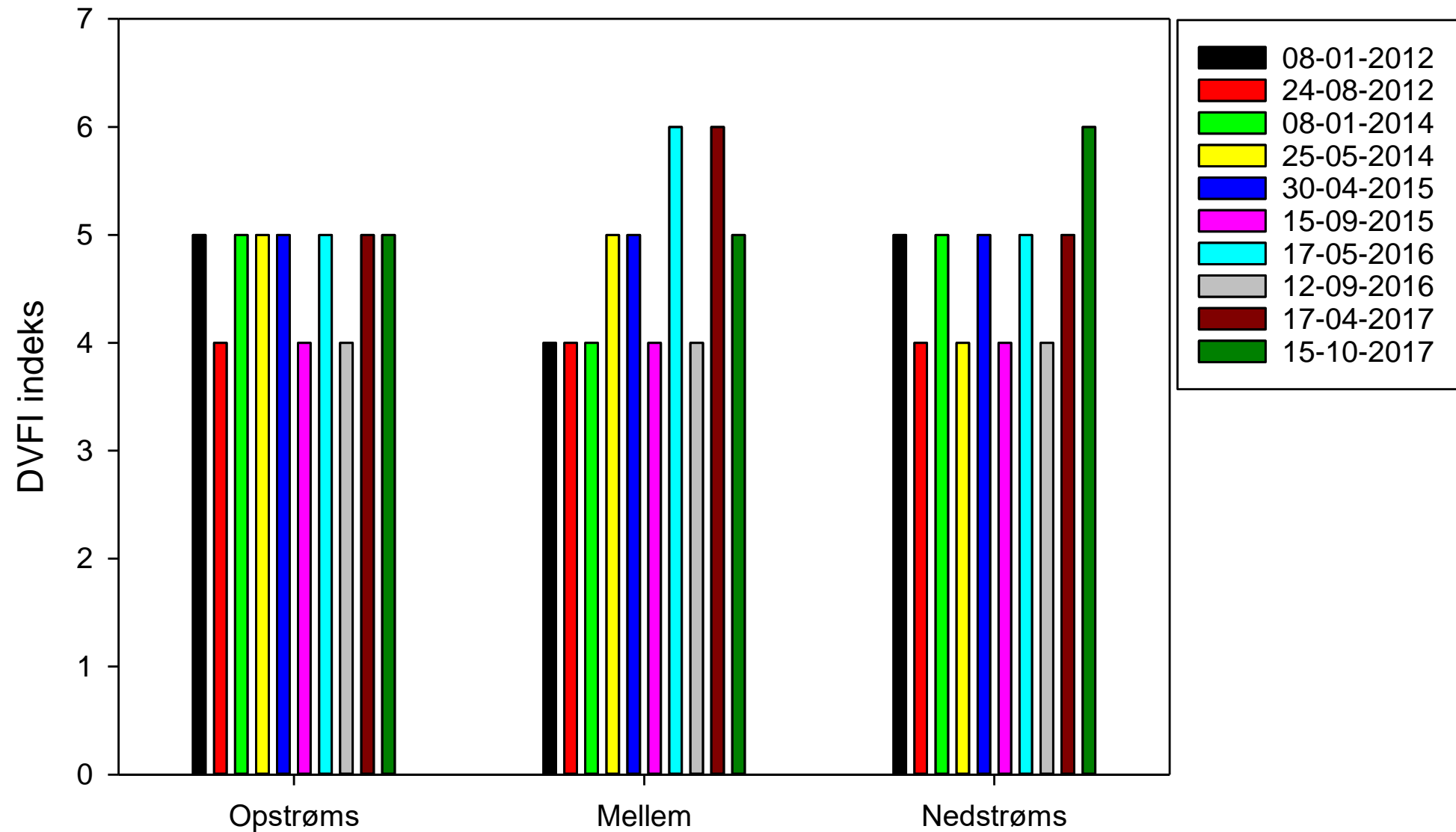
Meget effektivt

Renser ned til grundvandskvalitet

Og temperaturen udledt til vandløbet udjævnes/falder



Fauna indeks opstrøms, mellem og efter de to udløb (vejen blev anlagt 2014-2015)



Men bringer fremtiden?

Vi ved ikke hvilke miljøfremmede stoffer morgendagen bringer

Vi skal rense for meget andet, fx næringsalte

Vi skal forsinke vandet ved udledning til vandløb

Der skal være rimelighed mellem indsatsen og den opnåede effekt

Anlæggene skal være simple og billige at drive

Vores rensning skal derfor være bredspektret, robust, billig.

Den skal baseres på bundfældning, filtrering, og en sjælden gang sorption

Hvad betyder klimaændringer for løsninger?

De løsninger vi bruger, findes også i andre klimazoner

Måske opstår der lidt praktiske problemer, fx forhøjet grundvand

Men grundlæggende set, burde klimaændringer ikke gøre den store forskel

NOT the end

