

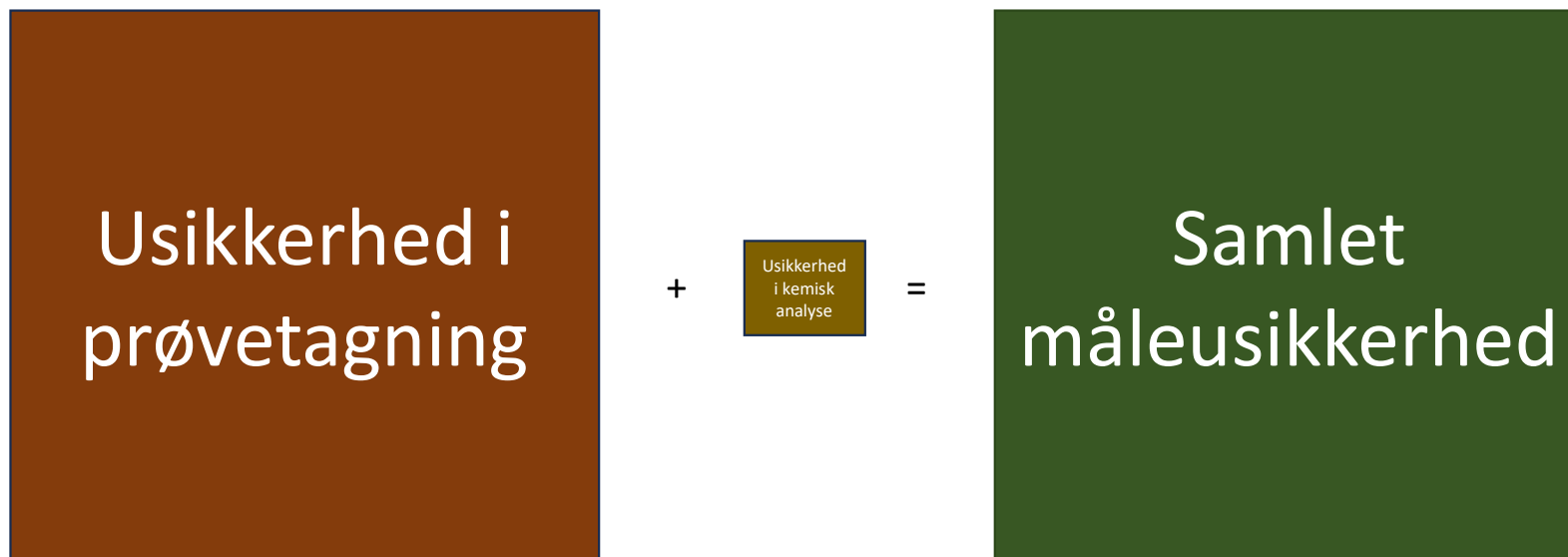
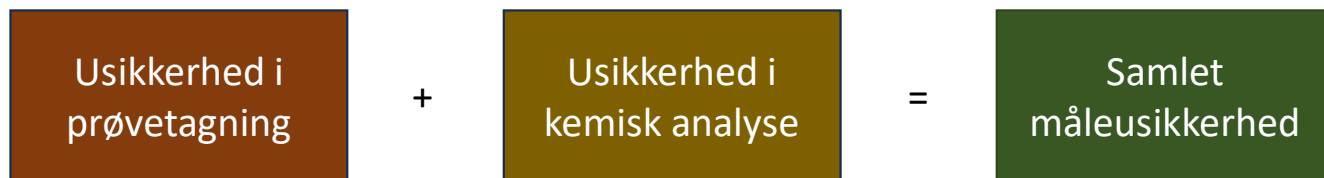


Et overblik over variationen i koncentrationer, måleusikkerhed og statistik i et komplekst miljø

Jes Vollertsen, Aalborg University, Denmark

At måle i et komplekst miljø

Måleusikkerhed består af usikkerhed på flere parametre

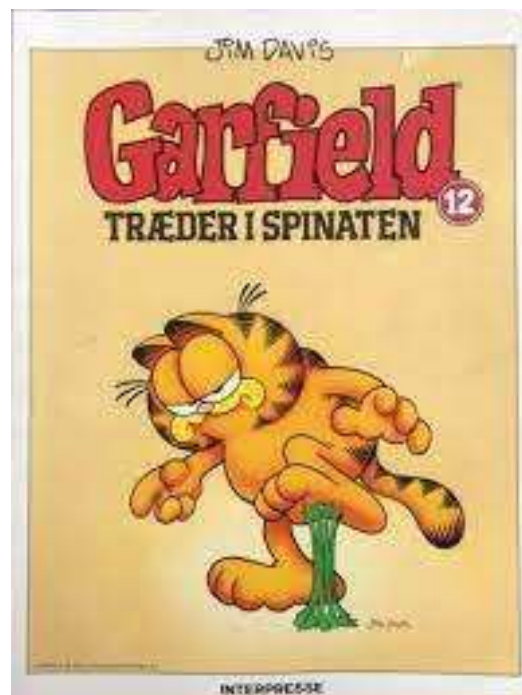


At måle i et komplekst miljø – en koncentration er ikke bare ét tal

Ofte lukker vi øjnene for variabilitet i tid og sted

Når vi lukker øjnene, er der stor risiko for at vi laver en væsentlig fejl

Dette er ikke ny viden, det har vi vidst før jeg blev født (og jeg er ikke helt ung længere)

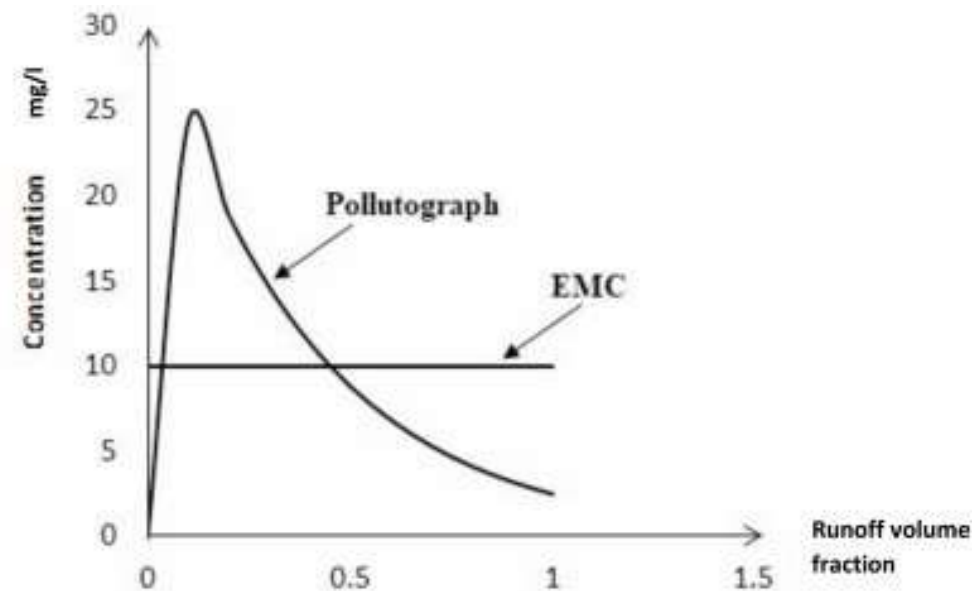
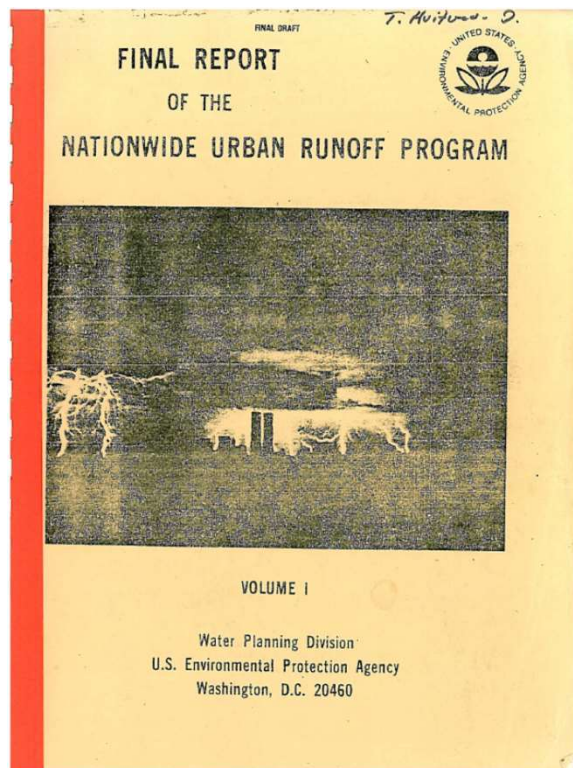


Regnvand som eksempel

I 1983 publicerede US-EPA et stort studie om forurening af regnvand (NURP rapport)

De indførte begreber vi stadig bruger i dag (eller burde bruge)

- Sted middel koncentration (Site mean concentration, SMC)
- Hændelses middel koncentration (Event mean concentration, EMC)

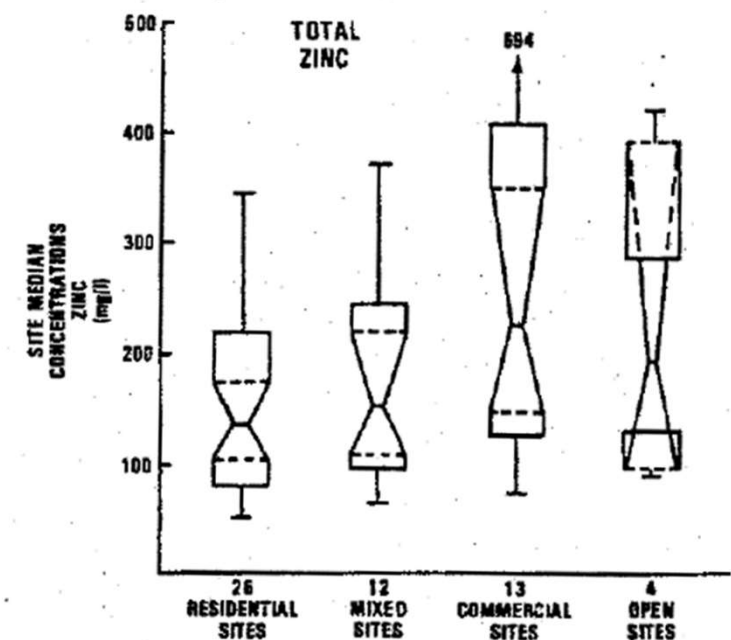
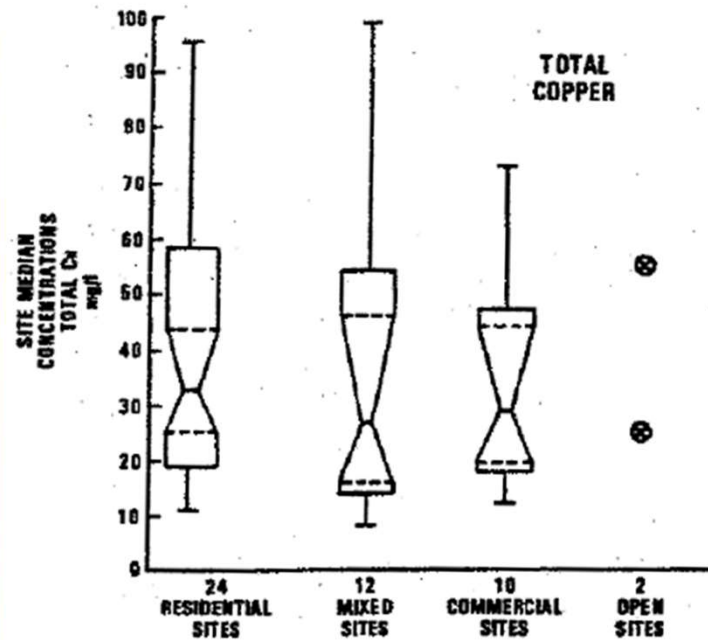
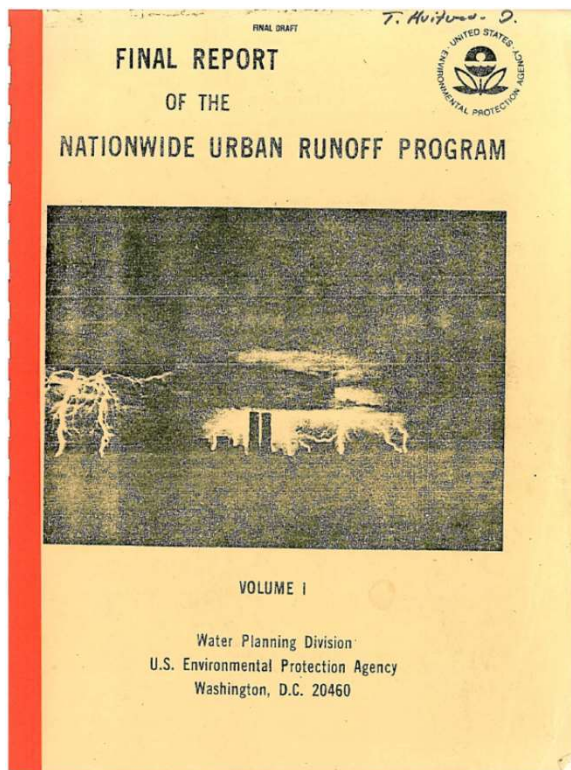


De indførte fx også begrebet "priority pollutants"

Regnvand som eksempel

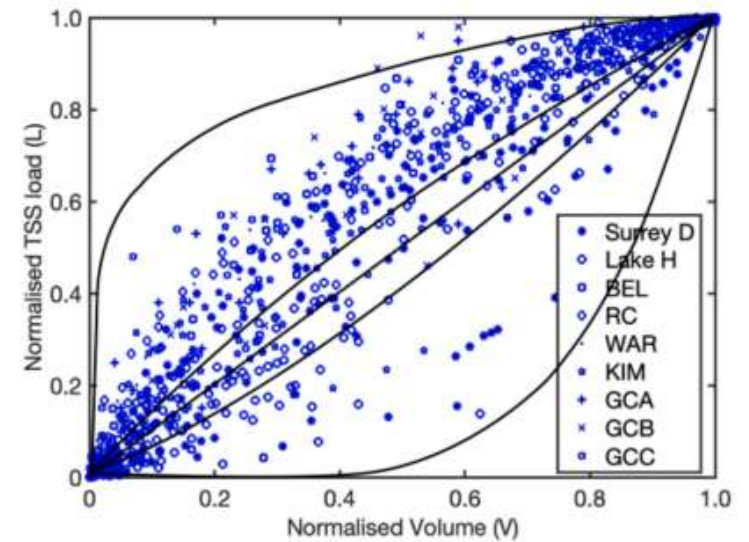
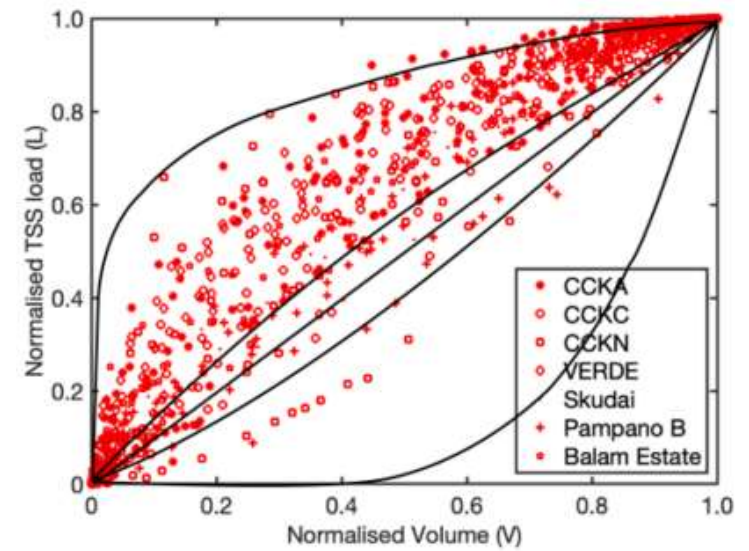
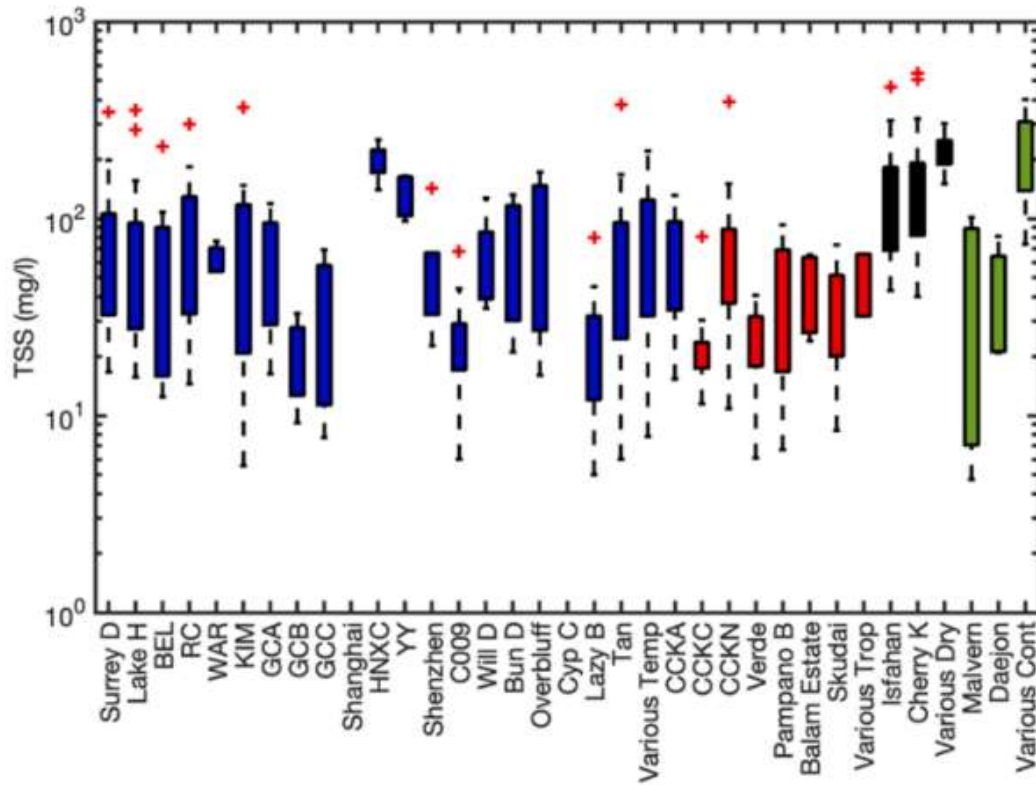
To rå tommelfingerregler:

- Stoffer varierer typisk lige så meget fra sted til sted, som de varierer over tid
- Stoffer varierer typisk indenfor en faktor 10 eller mere fra sted til sted og tid til tid



Læg mærke til at indholdet af kobber og zink i regnvand er det samme i dag som dengang

Hændelses middel koncentration for TSS for forskellige klimazoner



Water Research

Content not available at ScienceDirect

Water Research

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



Event mean concentration and first flush from residential catchments in different climate zones

Shagun Chaudhary^{a,*}, Lloyd HC Chua^a, Arun Kishor^b



Hvis vi skal måle, skal vi vide hvordan vi skal måle



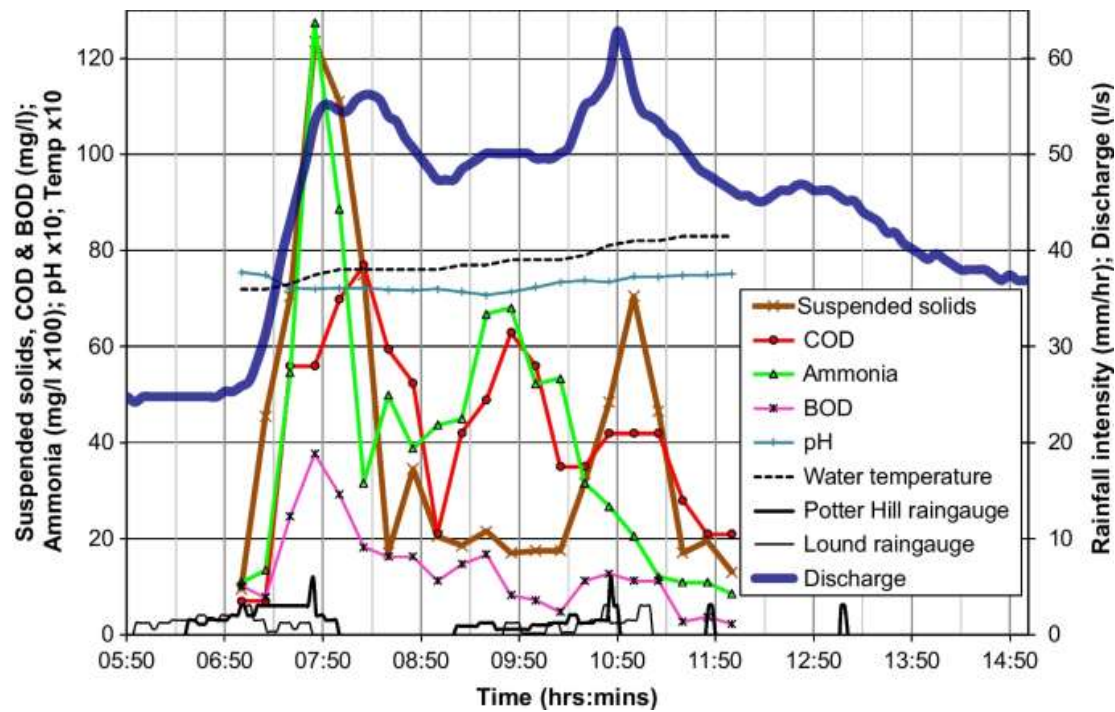
Stikprøver



Stikprøver er problematiske, da det vi måler varierer meget over tid

En enkelt eller to stikprøver er derfor som udgangspunkt utroværdige - at tage en enkelt eller to stikprøver svarer til at slå plat og krone

Tids- eller flowproportionale prøver



Et eksempel
Biocider fra urbane facader



Organisk basseret puds



Træbeskyttelse

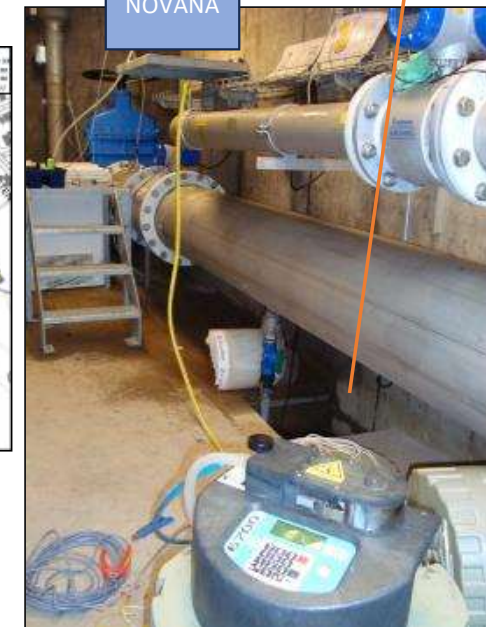
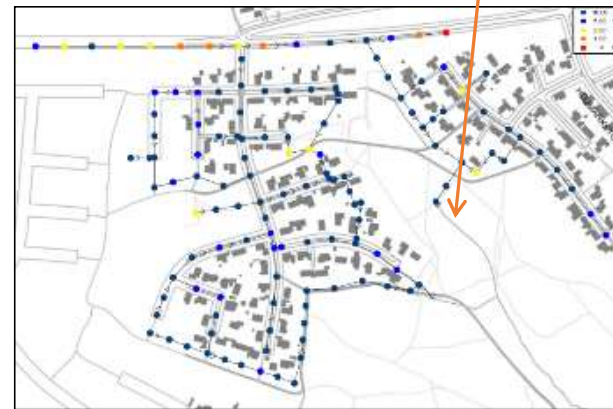


Maling

Fugemasse



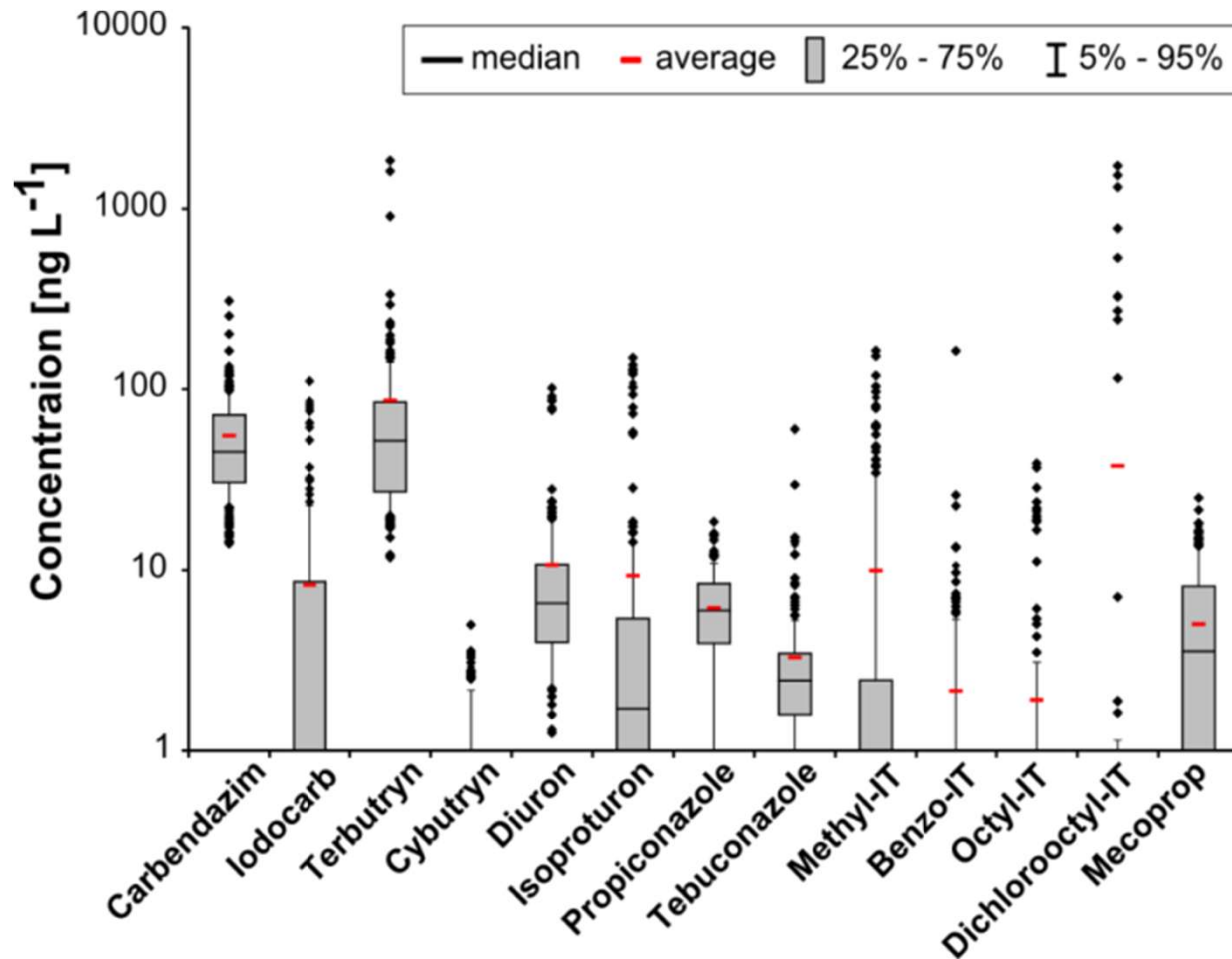
Kvantificering for et forsøgsopland



Biocidkoncentrationer målt flowproportionalt
i afstrømmet regnvand over 8 måneder



Måling over 8 måneder, meget høj tidsopløsning



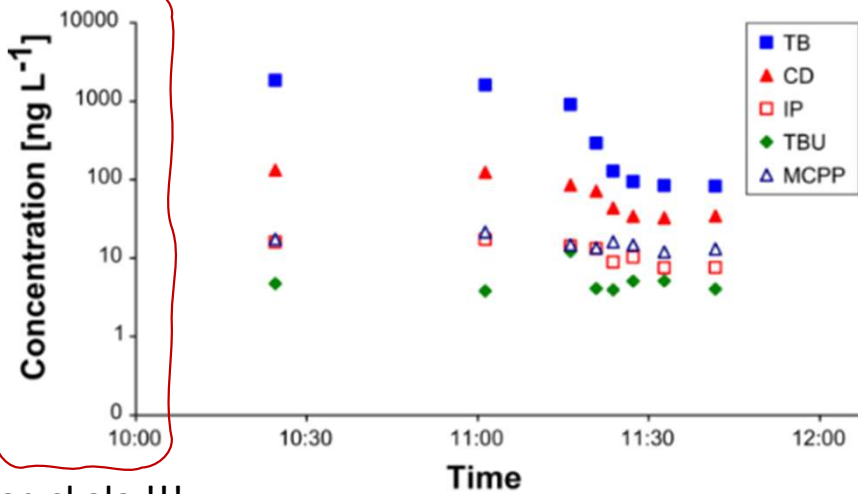
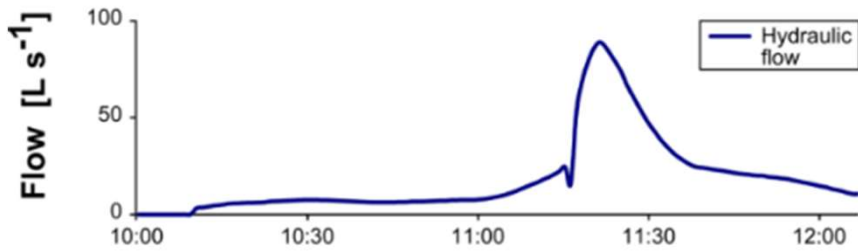
Alle værdier var under EU's kravværdier for biocider i recipienter



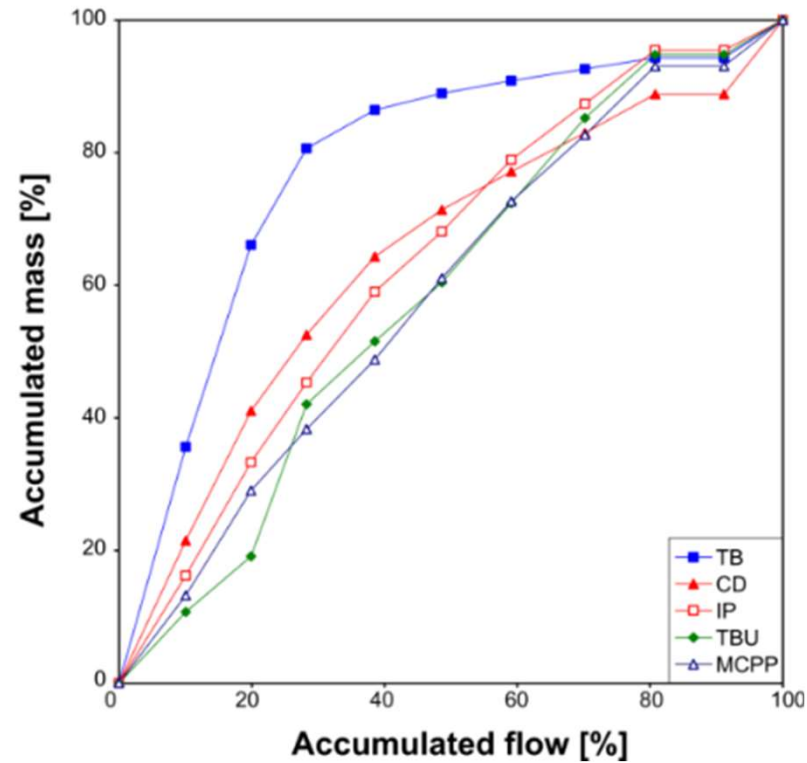
En enkelt regnhændelse

Der skal bruges tids- eller helst flowproportional prøvetagning

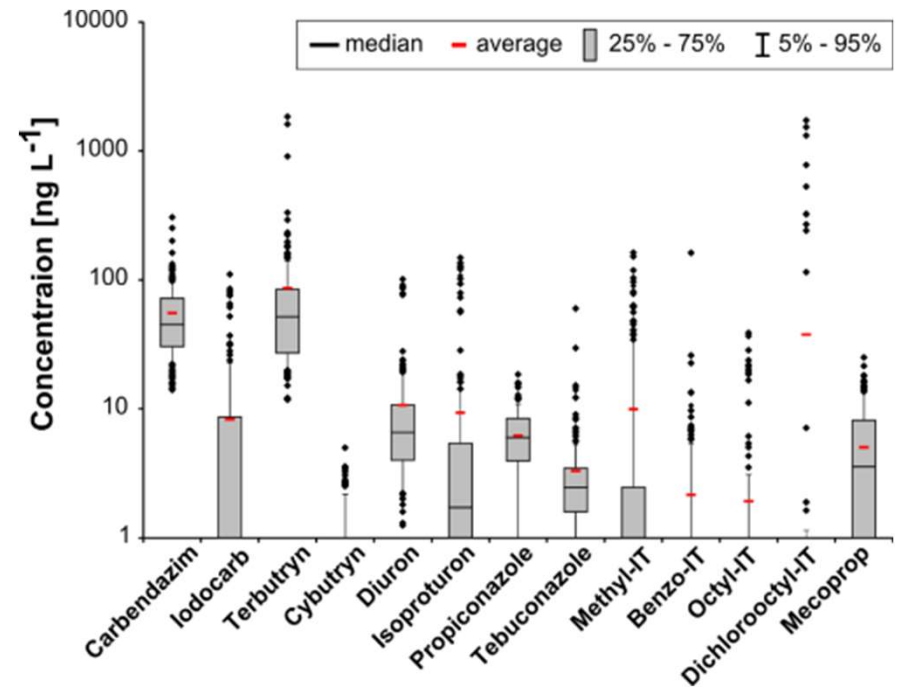
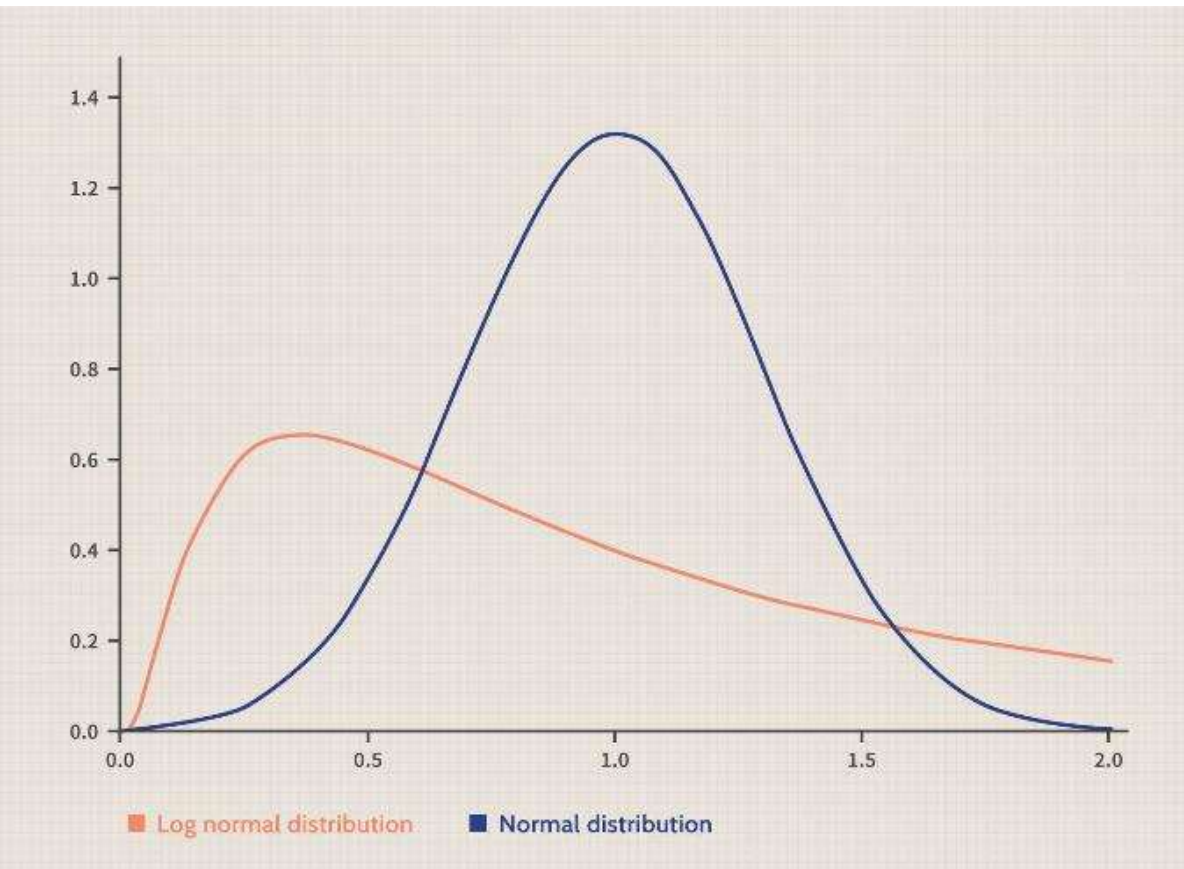
At tage blot én stikprøve vil åbenlyst give det forkerte resultat – ligegyldigt hvornår den tages i hændelsen ...



Log skala !!!



OBS: Stoffer er typisk log-normalt fordelte, og ikke normal-fordelte



Man kan altså ikke bare tage et par stikprøver, og så tage gennemsnittet, da den underliggende antagelse ved den metode er, at prøverne er normalfordelte

Hvordan måler vi på regnvand

Vandets koncentration varierer fra sted til sted

Hvor meget det varierer afhænger ikke kun af stedet, men også stoffet.

Nogen stoffer varierer meget, nogen mindre.

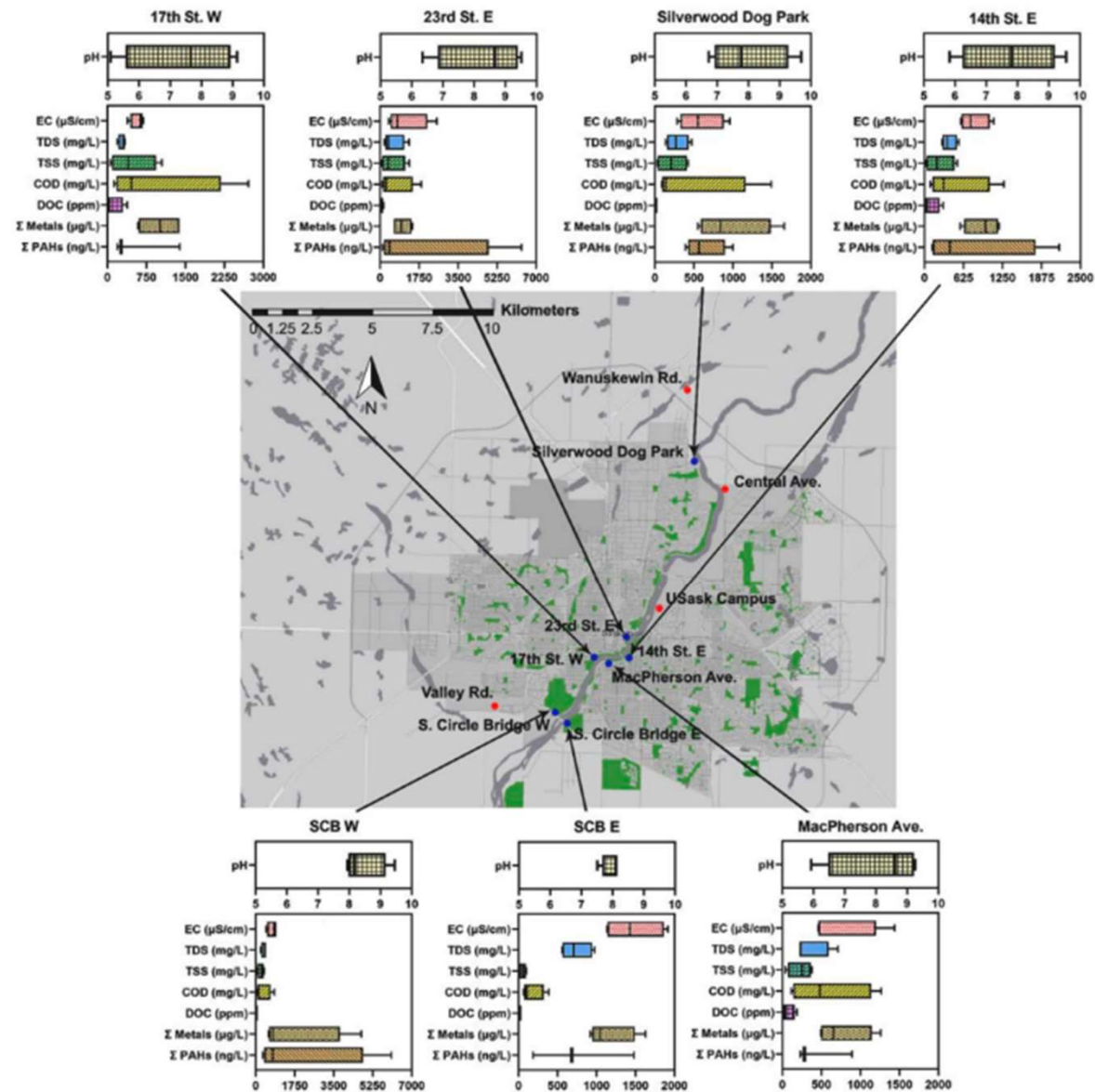
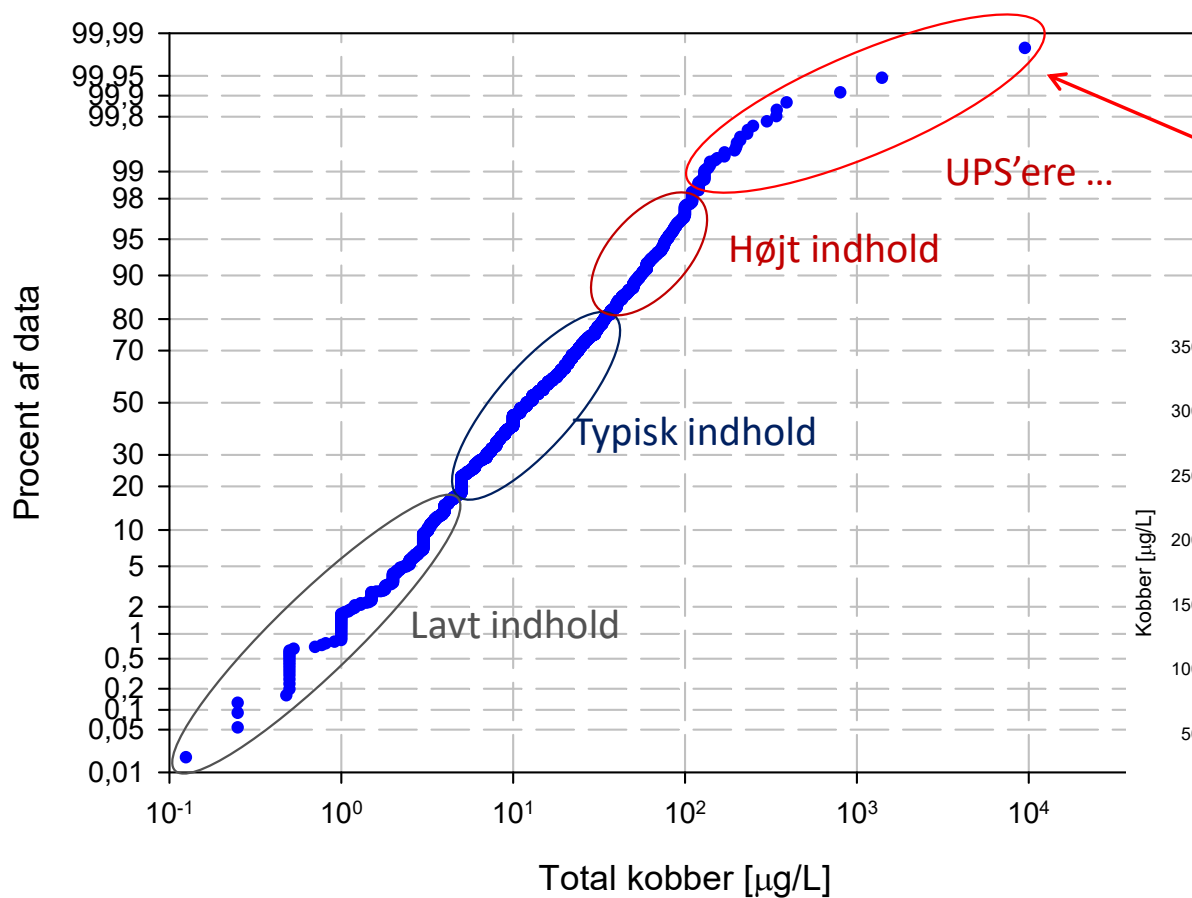


Fig. 1 Map of the City of Saskatoon (CoS) and a summary of outfall stormwater (SW) data for the 2019 sampling season. SW outfalls are indicated with blue dots along the river, with red dots indicating snow storage facilities (presented in a parallel study). Box and whisker plots indicate averages for four storm events as summarized in Table 1

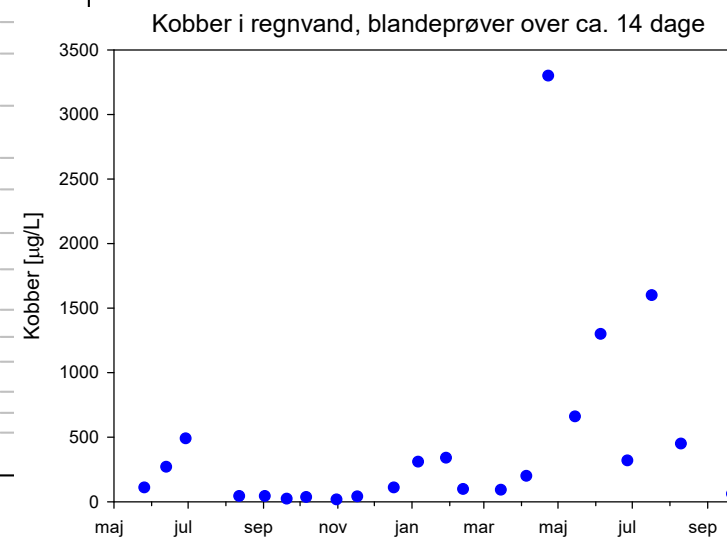
Variationen af stof er ofte meget stor

Kobber i afstrømmet regnvand

2787 prøvetagninger fra mange steder i USA og Canada

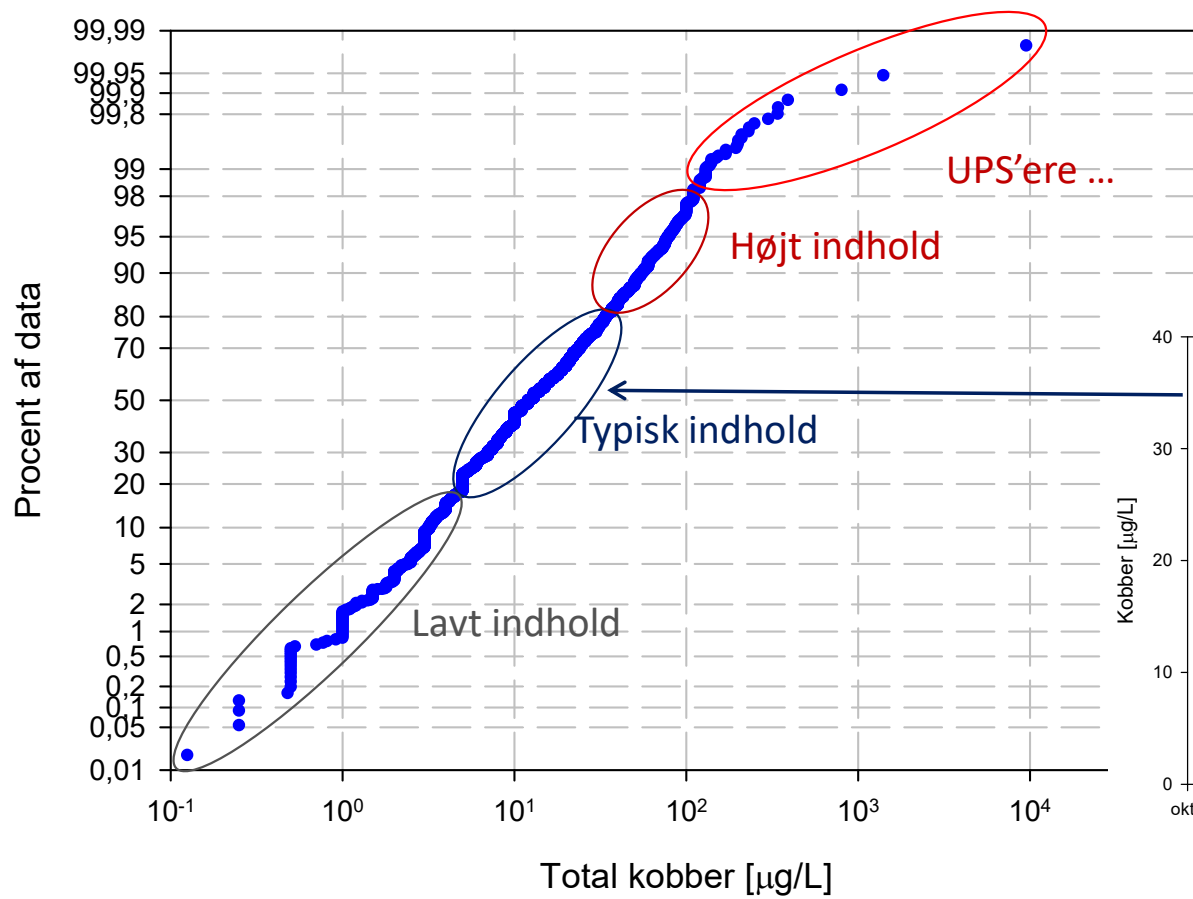


Industriområde i Odense med ulovlig udledning



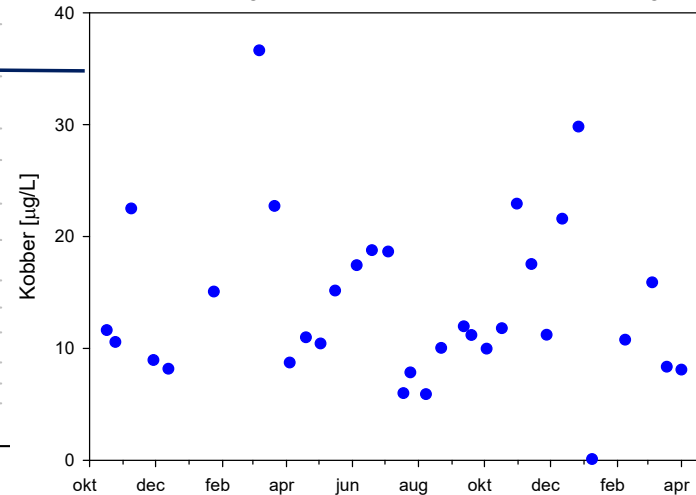
Variationen af stof er ofte meget stor

En almindelig lille landsby, Lemming ved Silkeborg



En almindelig lille landsby,
Lemming ved Silkeborg

Kobber i regnvand, blandeprøver over ca. 14 dage



Hvordan måler vi på recipienter

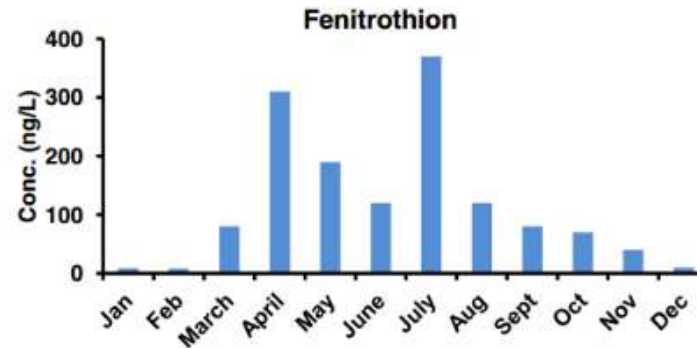
Samme udfordring som i regnvand, men lettere at måle, da der hele tiden er "vand i åen"

Pesticider / biocider i en japansk flod

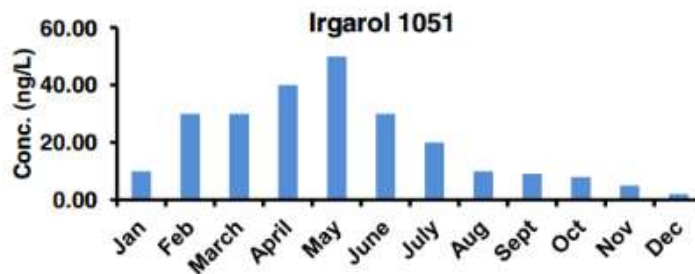
Relateret til landbrug



Relateret til landbrug

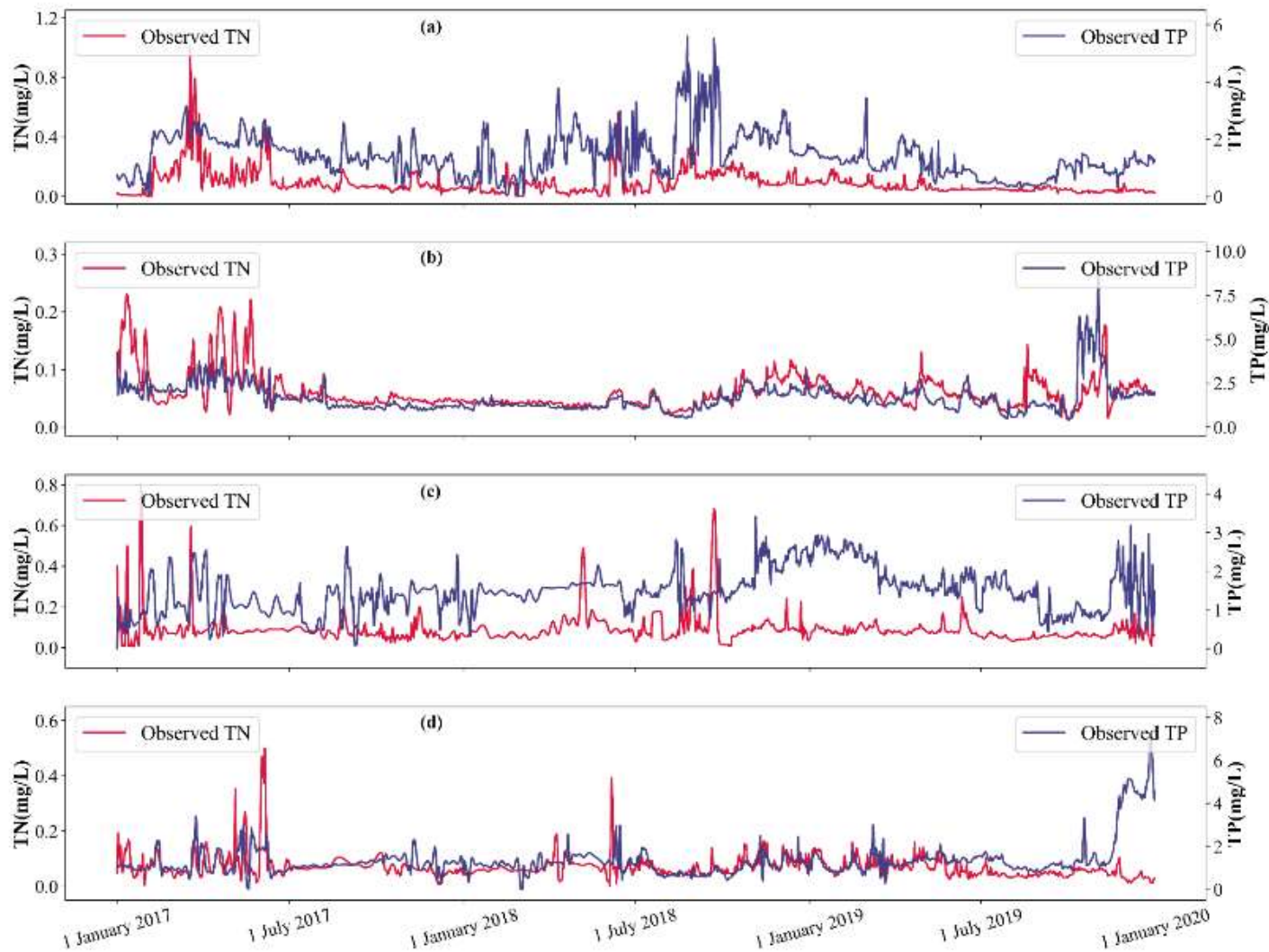


Relateret til urban aktivitet



Kaonga CC, Takeda K, Sakugawa H (2015). Diuron, Irgarol 1051 and Fenitrothion contamination for a river passing through an agricultural and urban area in Higashi Hiroshima City, Japan. Science of the Total Environment, 518: 450-458

Hvordan måler vi på recipienter



Kvælstof og fosfor i en kinesisk sø

Målinger versus typetal – hvilken variation kan man forvente i recipienten? Kobber som eksempel

Metaller i vandløb – vandfasen

Tabel 6.10. Metaller i vandprøver fra vandløb undersøgt ved kontrolovervågning og operationel overvågning i perioderne 2008-2013 og 2014-2019. Detektionsgrænsen er angivet som interval for højeste og laveste detektionsgrænse. Miljøkvalitetskravene (generel og maksimumkoncentration) er vist i kolonnerne yderst til højre

Enhed: µg/l	Periode	Middel	Median	10%- fraktil	90%- fraktil	Fund- hyppig- hed (%)	Detektions- grænse	Antal prø- ver/ stati- oner	MKK	Maks- konc.
Kobber									1 ^{1,3} /4,9 ⁶	2 ¹ /4,9 ⁶
Kontrol	2008-2013	2,4	2,1	i.b.	i.b.	100	0,03	3/2		
Kontrol	2014-2019	1,4	1,3	0,32	2,3	100	0,03-0,04	241/24		
Operationel	2008-2013	1,7	1,4	0,5	3,2	99	0,03	255/22		
Operationel	2014-2019	4,0	1,3	0,52	2,8	100	0,03-0,04	810/129		

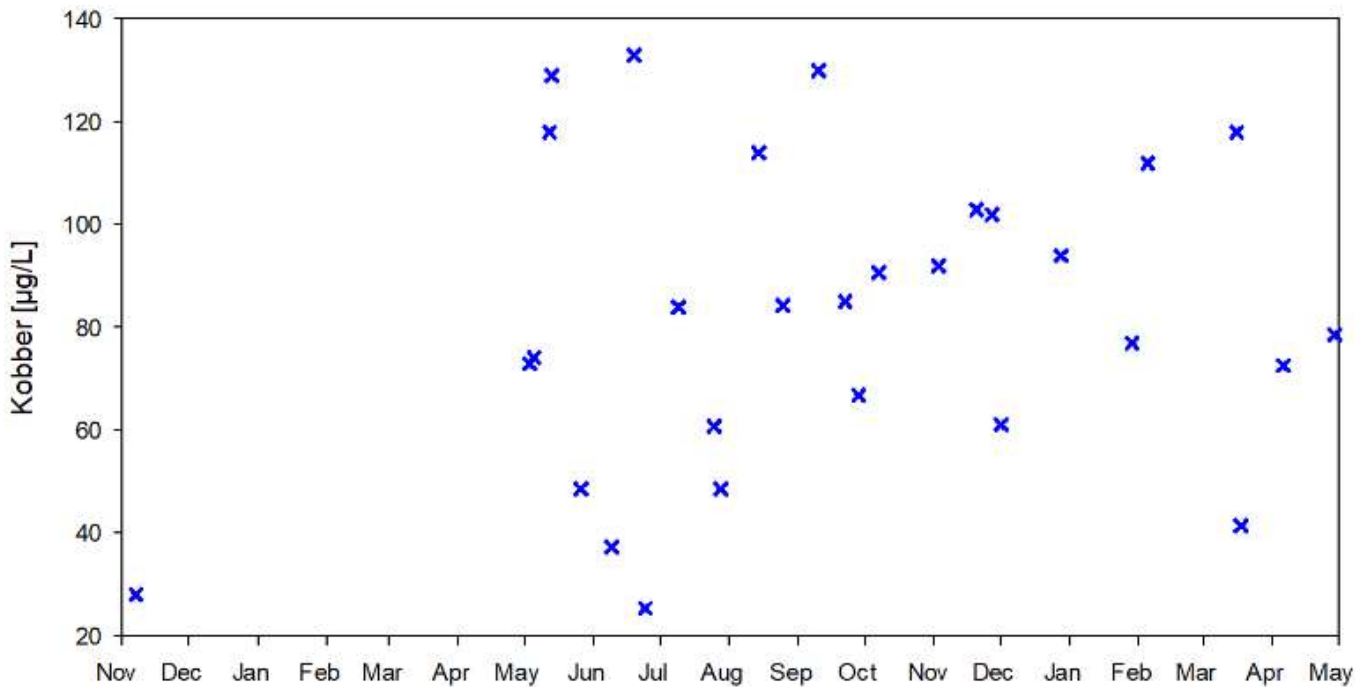
Målinger versus typetal – hvilken variation kan man forvente i **recipienten**?
Zink som eksempel

Enhed: µg/l	Periode	Middel	Median	10%- fraktil	90%- fraktil	Fund- hyppig- hed (%)	Detektions- grænse	Antal prø- ver/ stati- oner	MKK	Maks- konc.
Zink									7,8 ^{1,3} /3,1 ^{1,4}	8,4 ¹
Kontrol	2008-2013	9,8	3,4	2	24	100	0,5	3/2		
Kontrol	2014-2019	11	5,3	1,2	25	99	0,3-0,5	119/19		
Operationel	2008-2013	17	15	1	39	99	0,36-0,5	255/22		
Operationel	2014-2019	14	8,7	1,9	32	100	0,3-0,5	748/124		

Sådan cirka samme variation som i regnvandet
(groft sagt i størrelsesorden en faktor 10 mellem stikprøver)

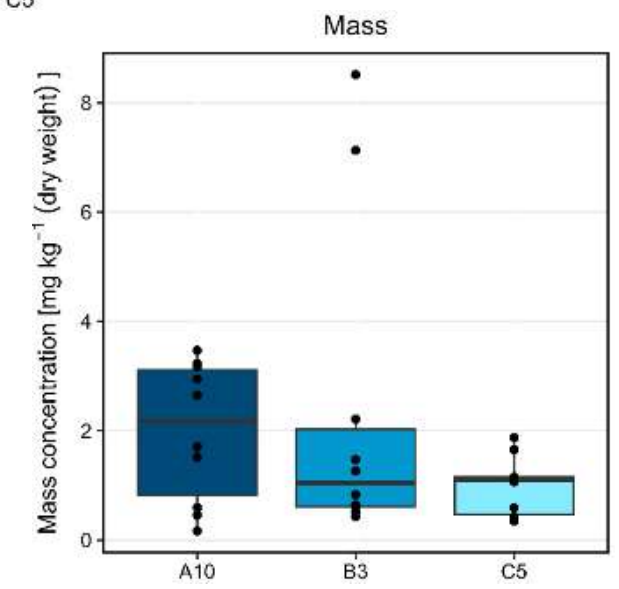
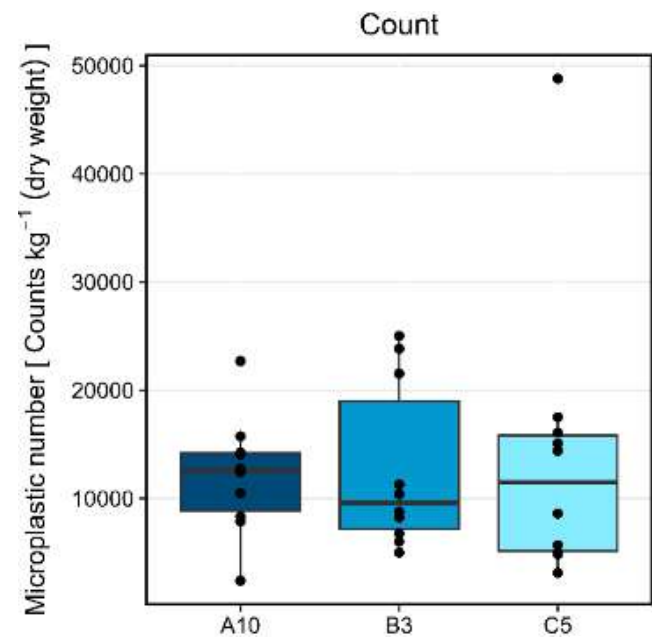
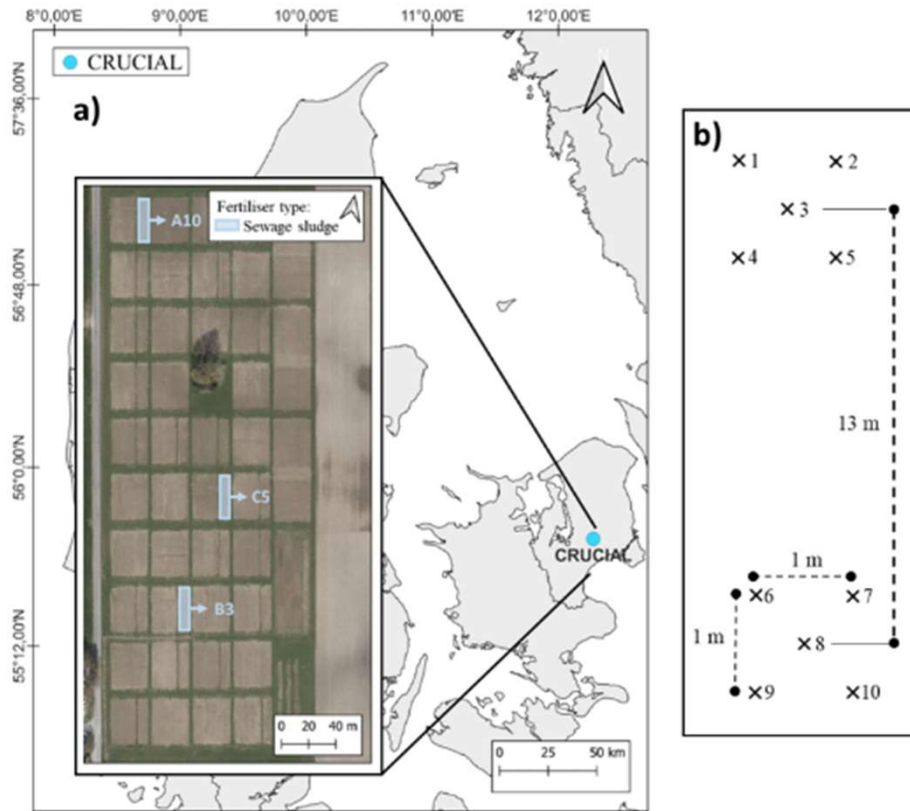
Hvad betyder det for hvor meget vi skal måle? (hvis vi altså synes, vi skal måle)

Langtidsmåling af bl.a. kobber i indløbet til et regnvandsbassin i Norge
Prøver taget flowproportionalt som 2-ugers blandeprøver



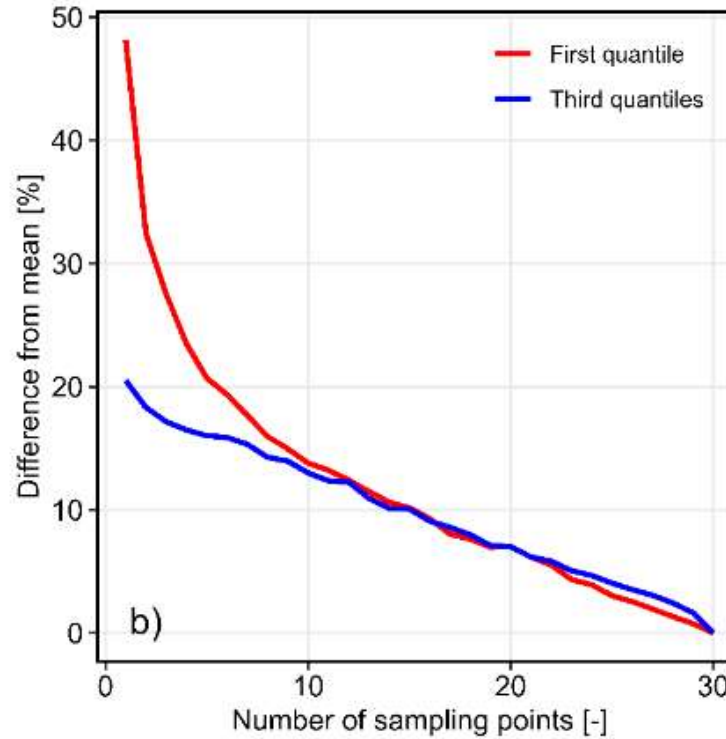
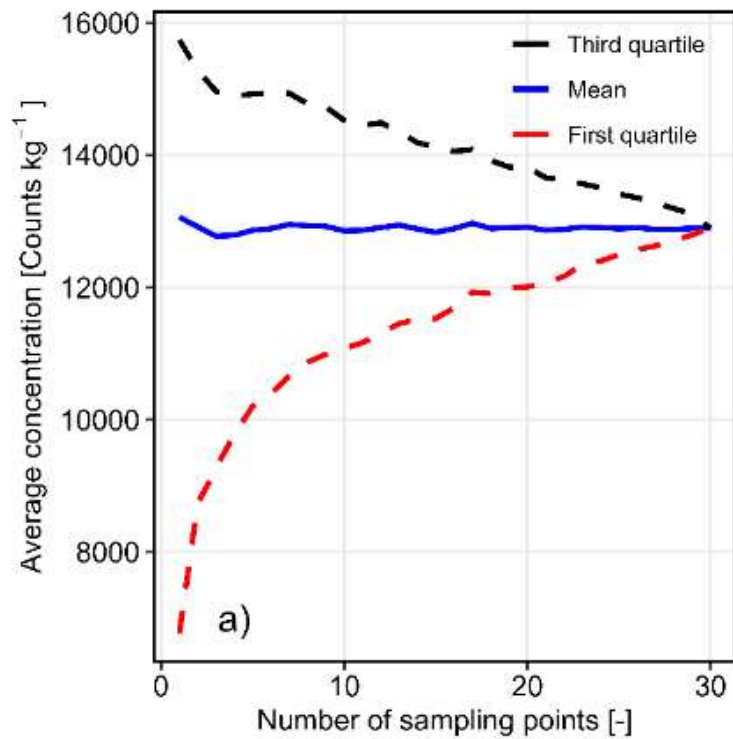
Min erfaring siger mig, at man skal måle kontinuert i ½ – 1 år for at være sikker på hvad der kommer, og hvad variabiliteten er

Et andet eksempel – mikroplast i landbrugsjord



Et andet eksempel – mikroplast i landbrugsjord

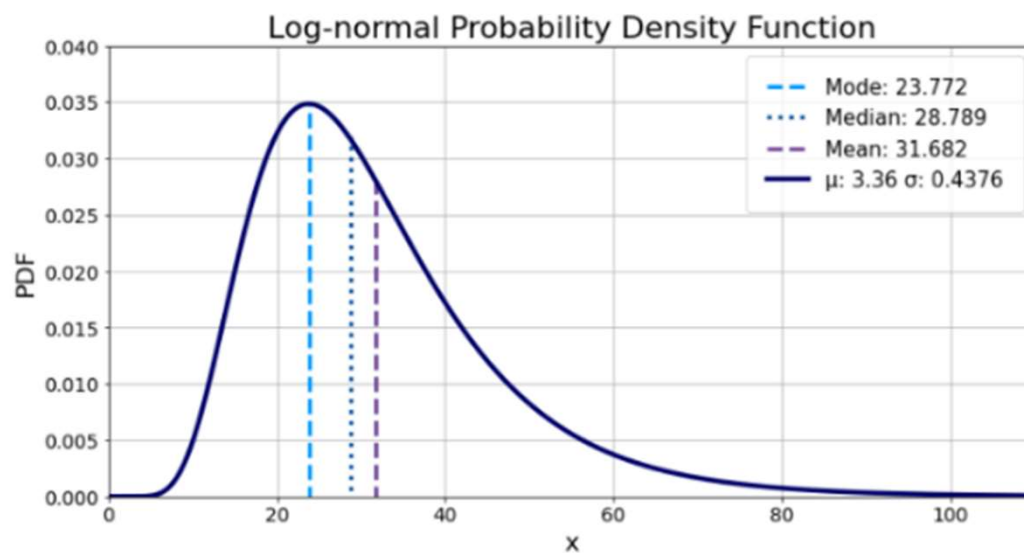
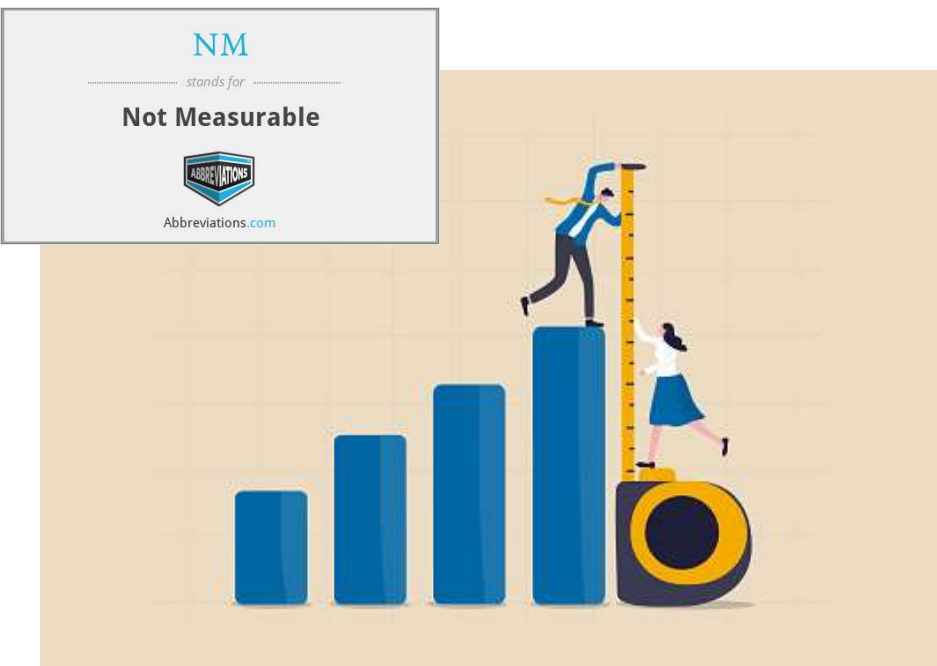
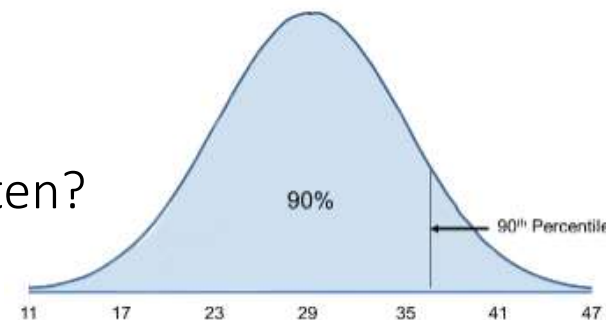
Der skal mange nedstik til, for at få en repræsentativ prøve



Monte Carlo simulering ift en antaget “sand værdi” i jorden

Faktiske koncentrationer som krav? Hvordan fungerer det?

- Skal kravet kunne kontrolleres?
- Hvad menes med 'koncentration'?
(Middelværdi? Medianværdi? En fraktil, fx 90% fraktil? ...)
- Skal en udledning give anledning til en målbar forskel i recipienten?



Hvad er en målbar forskel?

Et tankeeksperiment: Der er målt N gange i en recipient
 Der er målt N gange i en regnvandsudledning

N = 2

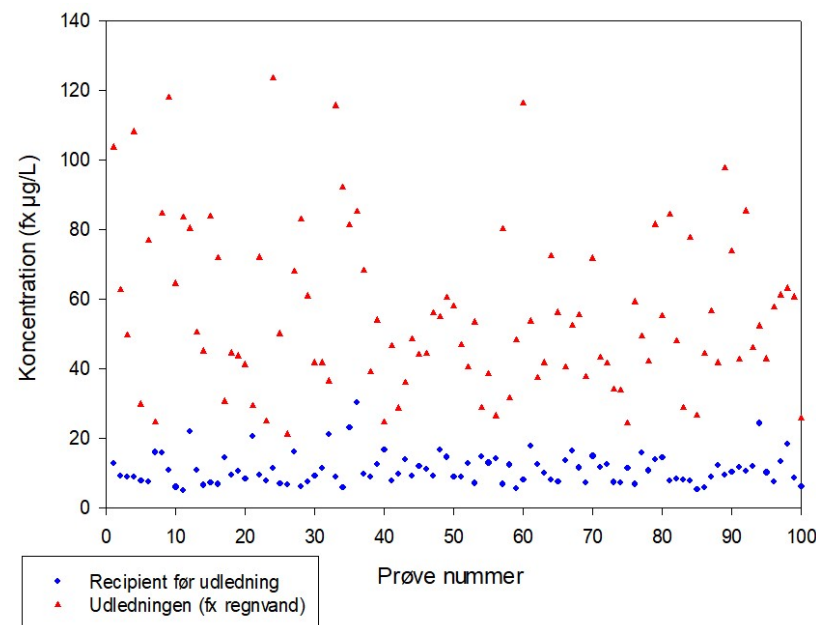
Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
Median	13.50	82.00
Middel	13.50	82.00

N = 10

Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
3	12.84	103.71
4	9.14	62.73
5	8.97	49.58
6	8.90	108.12
7	7.77	29.76
8	7.53	76.96
9	15.97	24.72
10	15.93	84.58
Median	9.05	78.68
Middel	11.40	70.42

N = 100

Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
3	12.84	103.71
4	9.14	62.73
5	8.97	49.58
6	8.90	108.12
7	7.77	29.76
8	7.53	76.96
9	15.97	24.72
10	15.93	84.58
11	10.74	117.94
12	6.00	64.54
...
...
99	8.54	60.66
100	6.16	25.83
Median	9.81	50.26
Middel	11.08	55.99



Prøverne er trukket fra en log-normalfordeling.
 Den teoretiske median af datasættet er 10 for vandløbet og 50 for regnvandet

Hvad er en målbar forskel?

Spørgsmål: Er der en målbar forskel mellem datasættene?

Altså: Er der en forskel mellem indholdet i vandløbet og i regnvandet?

Der er ikke statistisk signifikant forskel på de to datasæt

N = 2

Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
Median	13.50	82.00
Middel	13.50	82.00

Mann-Whitney Rank Sum Test					
Normality Test (Shapiro-Wilk):					
		Passed	(P = 0.992)		
Equal Variance Test:					
		Failed	(P < 0.050)		
Group	N	Missing	Median	25%	75%
Col 1	2	0	13.497	5.077	21.918
Col 2	2	0	81.999	80.393	83.605
Mann-Whitney U Statistic= 0.000					
Yates continuity correction option not applied to calculations.					
T = 3.000 n(small)= 2 n(big)= 2 P(est.)= 0.121 P(exact)= 0.333					
The difference in the median values between the two groups is not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0.333)					

Hvad er en målbar forskel?

Spørgsmål: Er der en målbar forskel mellem datasættene?

Altså: Er der en forskel mellem indholdet af vandløbet og regnvandet?

Der er statistisk
signifikant forskel på
de to datasæt

N = 10

Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
3	12.84	103.71
4	9.14	62.73
5	8.97	49.58
6	8.90	108.12
7	7.77	29.76
8	7.53	76.96
9	15.97	24.72
10	15.93	84.58
Median	9.05	78.68
Middel	11.40	70.42

Mann-Whitney Rank Sum Test

Normality Test (Shapiro-Wilk): Passed (P = 0.095)

Equal Variance Test: Failed (P < 0.050)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
Col 1	10	0	9.055	7.710	15.940
Col 2	10	0	78.675	44.625	89.362

Mann-Whitney U Statistic= 0.000

Yates continuity correction option not applied to calculations.

T = 55.000 n(small)= 10 n(big)= 10 (P = <0.001)

The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

Hvad er en målbar forskel?

Spørgsmål: Er der en målbar forskel mellem datasættene?

Altså: Er der en forskel mellem indholdet af vandløbet og regnvandet?

Der er statistisk signifikant forskel på de to datasæt

N = 100

Prøve	Vandløb	Regnvand
1	5.08	83.61
2	21.92	80.39
3	12.84	103.71
4	9.14	62.73
5	8.97	49.58
6	8.90	108.12
7	7.77	29.76
8	7.53	76.96
9	15.97	24.72
10	15.93	84.58
11	10.74	117.94
12	6.00	64.54
...
...
99	8.54	60.66
100	6.16	25.83
Median	9.81	50.26
Middel	11.08	55.99

Mann-Whitney Rank Sum Test					
Normality Test (Shapiro-Wilk):		Failed	(P < 0.050)		
Equal Variance Test:		Failed	(P < 0.050)		
Group	N	Missing	Median	25%	75%
Col 1	100	0	9.812	7.709	13.218
Col 2	100	0	50.259	40.708	71.887
Mann-Whitney U Statistic= 17.000					
Yates continuity correction option not applied to calculations.					
T = 5067.000 n(small)= 100 n(big)= 100 (P = <0.001)					
The difference in the median values between the two groups is greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)					

Hvad er en målbar forskel?

Et tankeeksperiment:

Recipienten er et vandløb med 1000 L/s

Udledningen er på 10 L/s

Begge vandføringer er konstante

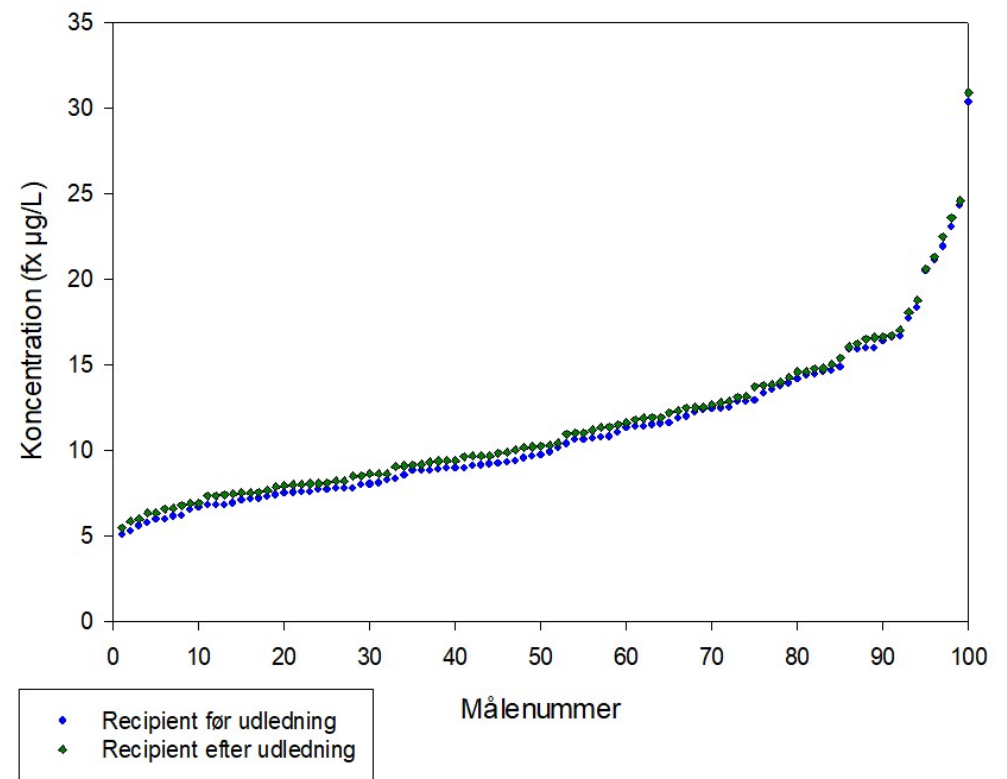
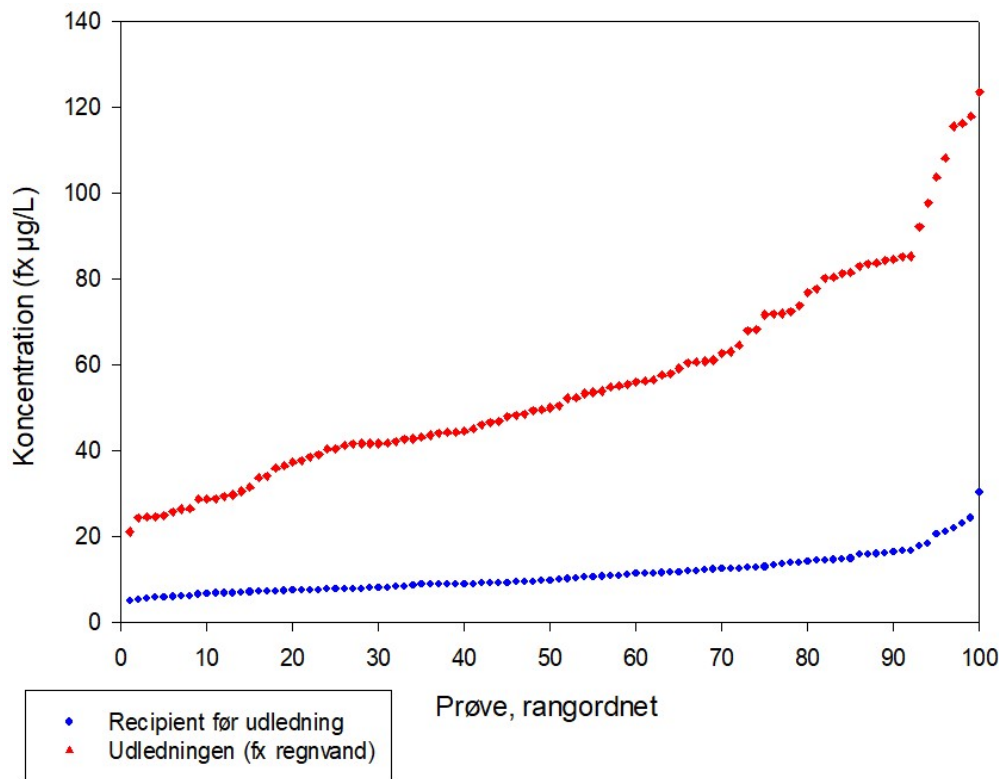
Efter sammenblanding

får man nu en 'før' og

en 'efter' fordeling

Sammenligner man dem ved brug af statistik (Mann-Whitney Rank Sum Test) får man, at de to fordelinger ikke er forskellige ($P = 0.321$)

Der er dermed **ikke nogen målbar forskel i recipienten efter en udledning**



Hvad er en målbar forskel?

Et par overvejelser i forbindelse med tankeeksperiment

- Hvis jeg øger mit afløbstal, altså at der kommer mere vand ud, så overholder jeg ikke længere kravet om målbar forskel
- Havde jeg haft problemer med at overholde kravet, kunne jeg drosle udløbet. Så vil kravet om målbar forskel være overholdt

Målehyppighed

- Hvis jeg måler få gange, så skal der mere til, for at forskellen er målbar
- Hvis jeg måler uendelig mange gange, så kan selv en lille forskel blive målbar

Målbarheden skal altså kobles til bestemte målebetingelser

- Forskellen skal være målbare under regnhændelser, og ikke når der ingen udløb er
- Hvis jeg måler om vinteren, hvor der er mere vand, vil jeg have lettere ved at overholde kravet om målbar forskel

Det er altså ikke helt så simpelt. Man kan ikke 'bare lige tage ud og måle ...'

Men det er jo heldigvis ikke første gang, vi løber ind i den slags problemer



Denne anvisning gør udførlig rede for, hvordan man skal håndtere et begrænset antal målinger til kontrol af en udledning.

- Hvis vi nu kun har 6 målinger per år
- Hvis vi nu kun har 12 målinger per år
- Hvis nu stoffet har en akut toksisk effekt (giftigt stof)
- Hvis nu stoffet har en akkumuleret effekt (fx næringsalte)
- Og så videre

I praksis kan vi ikke måle på alle udledninger og alle recipienter

Hvad gør vi nu, lille du ...

Det ser ud som om vi gør antagelser

- Vi antager regnvandet har en eller anden koncentration
- Vi antager rensforanstaltningen renses på bestemt vis
- Vi antager recipienten har en koncentration

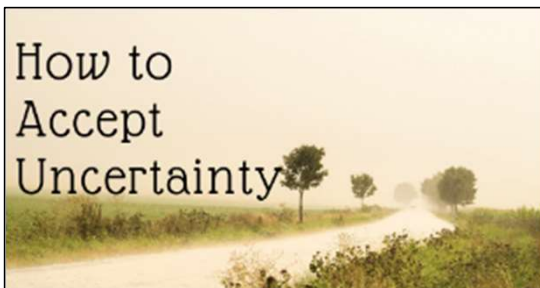


Gasolin - Vad gør vi nu lille du? Live 1975 - YouTube

Regnvandets koncentration varierer meget mellem steder og hændelser. Ofte har vi ingen målinger
Forudsigelse af koncentration kan derfor kun gøres som 'blødt gennemsnit'

Rensforanstaltningernes effektivitet afhænger af mange parametre, for nogle anlægstyper findes typetal
Forudsige renseseffekt kan derfor kun gøres som 'blødt gennemsnit'

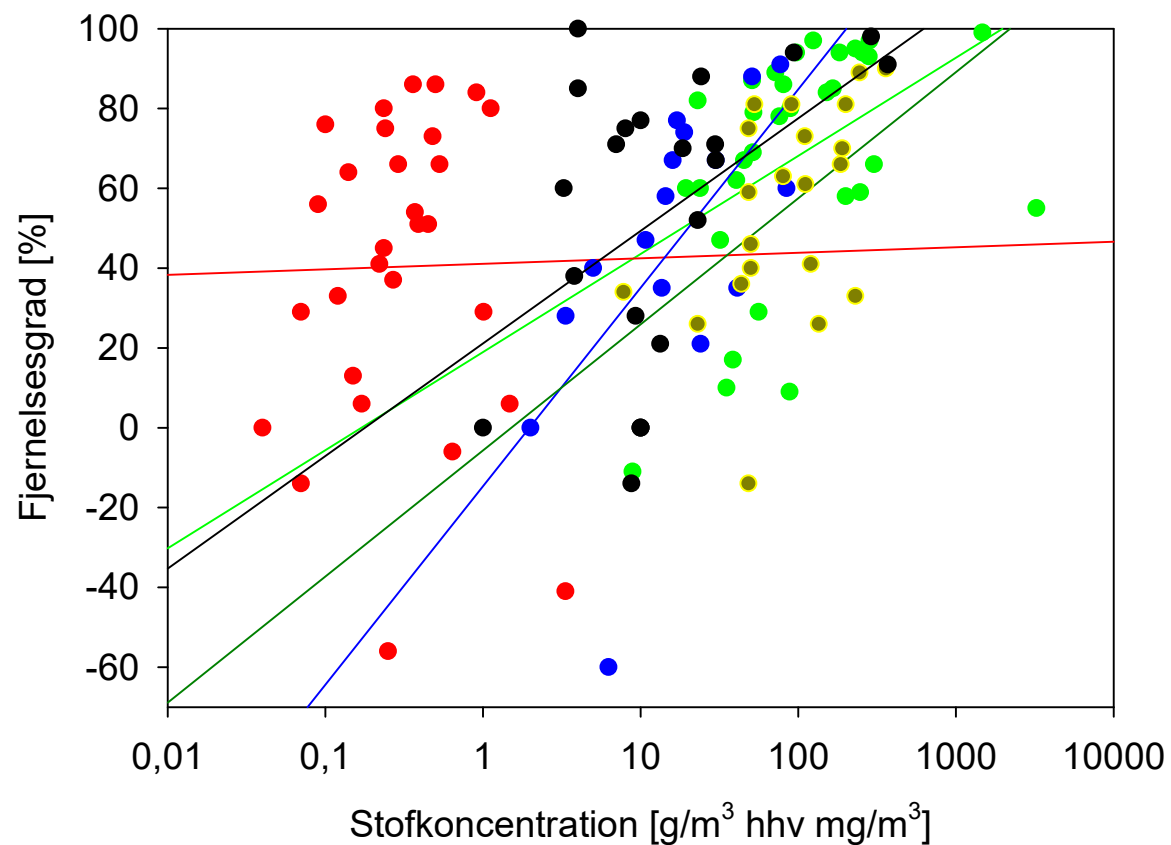
Recipientens koncentration varierer over tid, og ofte har vi ingen eller kun få målinger
Forudsigelse af koncentration kan derfor kun gøres som 'blødt gennemsnit'



Hvordan håndterer vi det faktum, at vi ikke kan kende det eksakte svar?

Hvis vi nu har målt længe på en teknologi,
hvordan kan vi så overføre fra én situation til en anden?

Kan vi bruge rensegrader?



Rensegrader – fy føj

Hvis nu man har målt en 90% effekt ved fx 1000 µg/L kobber i regnvandet, så kan man IKKE flytte den effektivitet til fx 10 µg/L.

Vi bliver nødt til at erkende, at vi ikke kan kende de tal, vi så gerne vil kende

Lad os i stedet sammen finde løsninger, der hjælper miljøet, og som giver mening



Slut

