

# Er regnvand det rene vand?

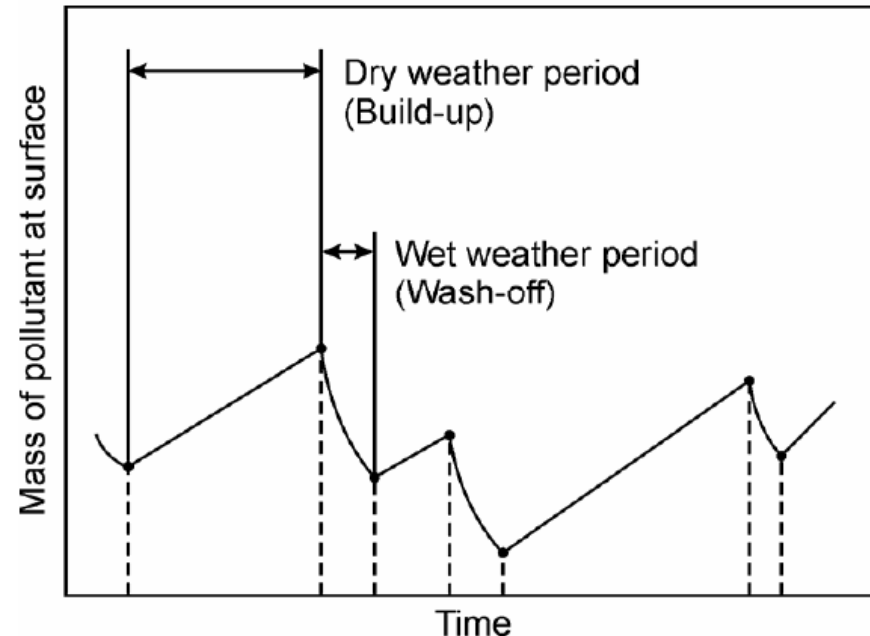
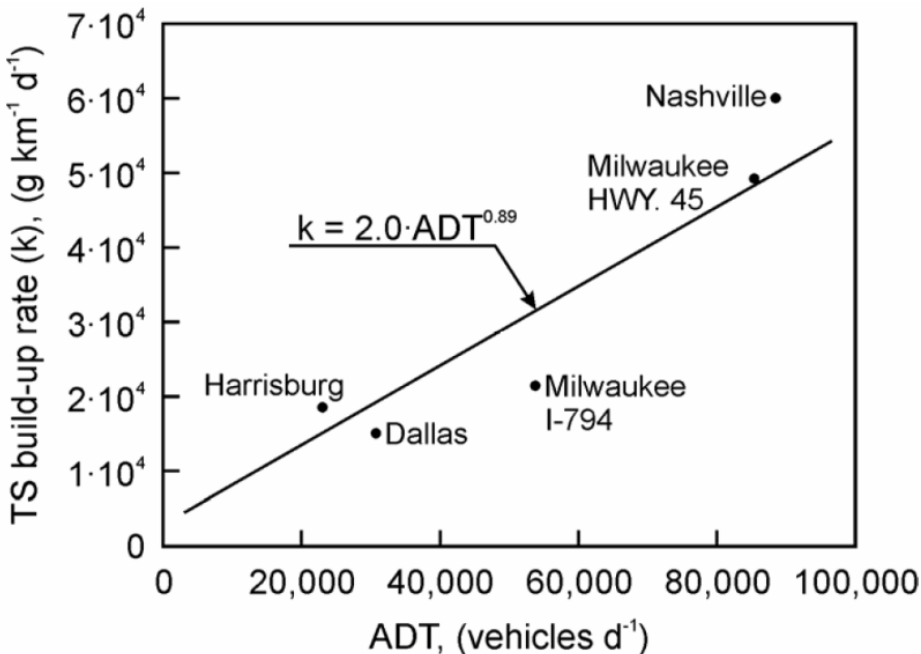
Separat regnvand: Det er rent - eller hva'?

Jes Vollertsen

Sektion for Miljøteknik, Aalborg Universitet

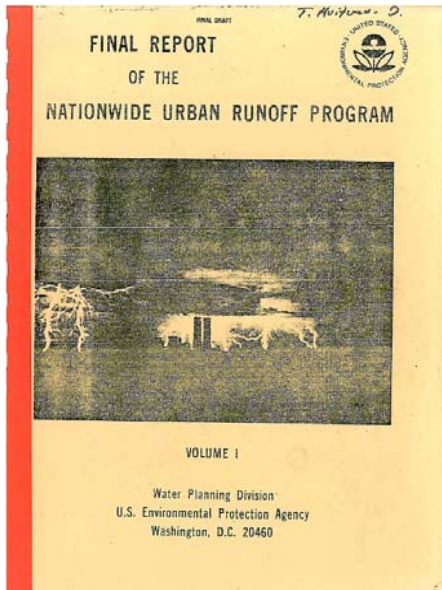
# Kilder til stof i regnvand

- Atmosfærisk deposition (tør, våd)
- Bygningsmaterialer (tage, skilte, maling, osv)
- Spild på byoverflader
- Trafik



# Stofindhold i separat regnvand:

i 1983 udgav  
amerikanerne en  
stor undersøgelse:  
NURP



<u>Priority Pollutants Detected in 75 Percent or More of the NURP Samples</u>	
<u>Inorganics</u>	<u>Organics</u>
30. Lead (94%)	None
36. Zinc (94%)	
28. Copper (91%)	
<u>Priority Pollutants Detected in 50 percent to 74 percent of the NURP Samples</u>	
<u>Inorganics</u>	<u>Organics</u>
27. Chromium (58%)	None
23. Arsenic (52%)	
<u>Priority Pollutants Detected in 20 percent to 49 percent of the NURP Samples</u>	
<u>Inorganics</u>	<u>Organics</u>
26. Cadmium (48%)	105. Bis(2-ethylhexyl) phthalate (22%)
32. Nickel (43%)	3. $\alpha$ -Hexachlorocyclohexane (20%)
29. Cyanides (23%)	
<u>Priority Pollutants Detected in 10 percent to 19 percent of the NURP Samples</u>	
<u>Inorganics</u>	<u>Organics</u>
22. Antimony (13%)	12. $\alpha$ -Endosulfan (19%)
25. Beryllium (12%)	94. Pentachlorophenol (19%)
33. Selenium (11%)	7. Chlordane (17%)
	5. $\gamma$ -Hexachlorocyclohexane (Lindane) (15%)
	122. Pyrene (15%)
	90. Phenol (14%)
	121. Phenanthrene (12%)
	47. Dichloromethane (methylene chloride) (11%)
	96. 4-Nitrophenol (10%)
	115. Chrysene (10%)
	117. Fluoranthene (16%)

<sup>1</sup> Based on 121 sample results received as of September 30, 1983, adjusted for quality control review. Does not include special metals samples.

# Amerikanerne målte meget og fandt meget

Priority Pollutants Detected in 1 percent to 9 percent of the NURP Samples

- 51. Trichloromethane (9%)
- 120. Naphthalene (9%)
- 98. 2,4-Dimethyl phenol (8%)
- 109. Anthracene (7%)
- 2. Aldrin (6%)
- 6. δ-Hexachlorocyclohexane (6%)
- 9. DDE (6%)
- 11. Dieldrin (6%)
- 17. Heptachlor (6%)
- 58. 1,1,1-Trichloroethane (6%)
- 65. Trichloroethene (6%)
- 85. Ethylbenzene (6%)
- 102. Diethyl phthalate (6%)
- 103. Di-n-butyl phthalate (6%)
- 104. Di-n-octyl phthalate (6%)
- 106. Butyl benzyl phthalate (6%)\*
- 114. Benzo(a)pyrene (6%)
- 4. β-Hexachlorocyclohexane (5%)
- 53. Trichlorofluoromethane (5%)<sup>2</sup>
- 66. Tetrachloroethene (5%)
- 78. Benzene (5%)
- 79. Chlorobenzene (5%)
- 111. Benzo(b)fluoranthene (5%)\*
- 64. 1,2-trans-dichloroethene (4%)
- 110. Benzo(a)anthracene (4%)
- 19. Isophorone (3%)
- 52. Tetrachloromethane (carbon tetrachloride) (3%)
- 56. 1,1-Dichloroethane (3%)
- 87. Toluene (3%)
- 112. Benzo(k)fluoranthene (3%)
- 18. Heptachlor epoxide (2%)\*
- 59. 1,1,2-Trichloroethane (2%)\*
- 60. 1,1,2,2-Tetrachloroethane (2%)\*
- 63. 1,1-Dichloroethene (2%)
- 68. 1,3-Dichloropropene (2%)\*
- 113. Benzo(g,h,i)perylene (2%)
- 10. DDT (1%)\*
- 43. PCB-1260 (1%)\*
- 48. Chlorodibromomethane (1%)\*
- 49. Dichlorobromomethane (1%)\*
- 50. Tribromomethane (bromoform) (1%)\*
- 57. 1,2-Dichloroethane (1%)\*
- 67. 1,2-Dichloropropane (1%)\*
- 91. 2-Chlorophenol (1%)\*
- 95. 2-Nitrophenol (1%)\*
- 99. p-Chloro-m-cresol (1%)\*
- 101. Dimethyl phthalate (1%)\*
- 116. Dibenzo(a,h)anthracene (1%)\*
- 118. Fluorene (1%)\*
- 119. Indeno(1,2,3-cd)pyrene (1%)\*

Priority Pollutants Not Detected in NURP Samples

- 8. DDD
- 13. β-Endosulfan
- 14. Endosulfan sulfate
- 15. Endrin
- 16. Endrin aldehyde
- 21. Toxaphene
- 37. PCB-1016
- 38. PCB-1221
- 39. PCP-1232
- 40. PCB-1242
- 41. PCB-1248
- 42. PCB-1254
- 44. 2-Chloronaphthalene
- 45. Bromomethane (methyl bromide)
- 46. Chloromethane (methyl chloride)
- 54. Dichlorodifluoromethane (Freon-12)<sup>2</sup>
- 55. Chloroethane
- 61. Hexachloroethane
- 62. Chloroethene (vinyl chloride)
- 69. Hexachlorobutadiene
- 71. Bis(chloromethyl) ether<sup>2</sup>
- 72. Bis(chloroethyl) ether
- 73. Bis(chloroisopropyl) ether
- 74. 2-Chloroethyl vinyl ether
- 75. 4-Bromophenyl phenyl ether
- 76. 4-Chlorophenyl phenyl ether
- 77. Bis(2-chloroethoxy) methane
- 80. 1,2-Dichlorobenzene
- 81. 1,3-Dichlorobenzene
- 82. 1,4-Dichlorobenzene
- 83. 1,2,4-Trichlorobenzene
- 84. Hexachlorobenzene
- 86. Nitrobenzene
- 88. 2,4-Dinitrotoluene
- 89. 2,6-Dinitrotoluene
- 92. 2,4-Dichlorophenol
- 93. 2,4,6-Trichlorophenol
- 97. 2,4-Dinitrophenol
- 100. 4,6-Dinitro-o-cresol
- 107. Acenaphthene
- 108. Acenaphthylene
- 125. Di-n-propyl nitrosamine
- 127. 3,3'-Dichlorobenzidine

Pollutant	Frequency of Detection (%)	Detections/Samples <sup>2</sup>	No
<b>I. PESTICIDES</b>			
3. α-Hexachlorocyclohexane	20	21/106	
5. γ-Hexachlorocyclohexane (Lindane)	15	15/100	
7. Chlordane	17	7/42	
12. α-Endosulfan	19	9/49	
<b>II. METALS AND INORGANICS</b>			
22. Antimony	13	14/106	
23. Arsenic	52	45/87	
25. Beryllium	12	11/94	
26. Cadmium <sup>5</sup>	48	44/91	
27. Chromium <sup>5,6</sup>	58	47/81	
28. Copper <sup>5</sup>	91	79/87	
29. Cyanides	23	16/71	
30. Lead <sup>5</sup>	94	75/80	
32. Nickel <sup>5</sup>	43	39/91	
33. Selenium	11	10/88	
36. Zinc <sup>5</sup>	94	88/94	
<b>IV. HALOGENATED ALIPHATICS</b>			
47. Methane, dichloro-	11	3/28	
<b>VII. PHENOLS AND CRESOLS</b>			
90. Phenol	14	13/91	
94. Phenol, pentachloro-	19	21/111	
96. Phenol, 4-nitro-	10	11/107	
<b>VIII. PHTHALATE ESTERS</b>			
105. Phthalate, bis(2-ethylhexyl)	22	15/69	
<b>IX. POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS</b>			
115. Chrysene	10	11/109	
117. Fluoranthene	16	17/109	
121. Phenanthrene	12	13/110	
122. Pyrene	15	16/110	

# De kom frem til "event mean concentrations"

TABLE 5-11. MEDIAN EMCs FOR ALL SITES  
IN DESIGNATED LAND USE CATEGORY

Pollutant		Residential		Mixed		Commercial		Open/Nonurban	
		Median	CV	Median	CV	Median	CV	Median	CV
BOD	mg/L	10.0	0.41	7.8	0.52	9.3	0.31	-	-
COD		73	0.55	65	0.58	57	0.39	40	0.78
TSS		101	0.96	67	1.14	69	0.85	70	2.92
Total Lead	µg/L	144	0.75	114	1.35	104	0.68	30	1.52
Total Copper		33	0.99	27	1.32	29	0.81	-	-
Total Zinc		135	0.84	154	0.78	226	1.07	195	0.66
Total Kjeldahl Nitrogen		1900	0.73	1288	0.50	1179	0.43	965	1.00
NO <sub>2</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N		736	0.83	558	0.67	572	0.48	543	0.91
Total P		383	0.69	263	0.75	201	0.67	121	1.66
Soluble P		143	0.46	56	0.75	80	0.71	26	2.11

# Tungmetaller og PAH i Norge i 90'erne

Table 4.4. Typical minimum and maximum SMC values for heavy metals and PAH based on stormwater runoff measurements from 7 catchments in Norway (Storhaug, 1996).

Pollutant ( $\text{mg m}^{-3}$ )	Central urban areas	Residential areas	Commercial areas
Cd	0.1 – 0.5	0.1 – 0.4	0.1 – 0.5
Hg	0.2 – 1.2	< detection limit	< detection limit
Pb	1 – 33	1 – 8	1 – 19
Ni	3 – 190	1 – 10	1 – 11
Cr	1 – 170	1 – 12	1 – 7
Zn	10 – 300	5 – 140	8 – 92
Cu	6 – 120	3 – 15	4 – 31
PAH	0.1 – 2.7	0.1 – 0.8	0.01 – 0.3

NURP EMC for kobber: 29-33  $\text{mg m}^{-3}$

NURP EMC for zink: 135-226  $\text{mg m}^{-3}$

# Tungmetaller og miljøfremmede stoffer i Danmark (Miljøprojekt 355)

Stof	Overfladeafstrømning	Indløb til kommunale renselanlæg		Vandkvalitetskrav
	Denne undersøgelse*	Miljøstyrelsen, 1994a**	Århus Amt, 1996***	Bek. 921 af 8.okt. 1996****
Bly	70	16-28	-	3,2/5,6
Cadmium	0,73	1,6-1,9	-	5,0/2,5
Chrom	16	29-53	-	10,0/1,0
Kobber	160	56-147	-	12,0/2,9
Kviksølv	0,079	1,1-3,4	-	1,0/0,3
Nikkel	19	31-46	-	160,0/8,3
Zink	370	198-270	-	110,0/86,0
Naphthalen	0,15	0,3-1,2	0,67-3,5	1
Phenanthren	0,53	0,5	0,21-1,2	-
Anthracen	0,088	<0,02-0,06	0,036-0,06	0,01
Trichlorbenzen	<0,02	<0,02	<0,01	0,1
Hexachlorbenzen	0,011	<0,07-<0,09	<0,01	0,01
Dichlorphenol	0,025	<0,1-<0,9	0,16-0,22	10
Pentachlorphenol	0,045	<0,14-0,2	0,05-0,08	1
Nonylphenol	5,7	<9,5-39	12-52	-
DEHP	32	123-247	27-47	-
DOP	1,4	85-444	0,59-1,1	-

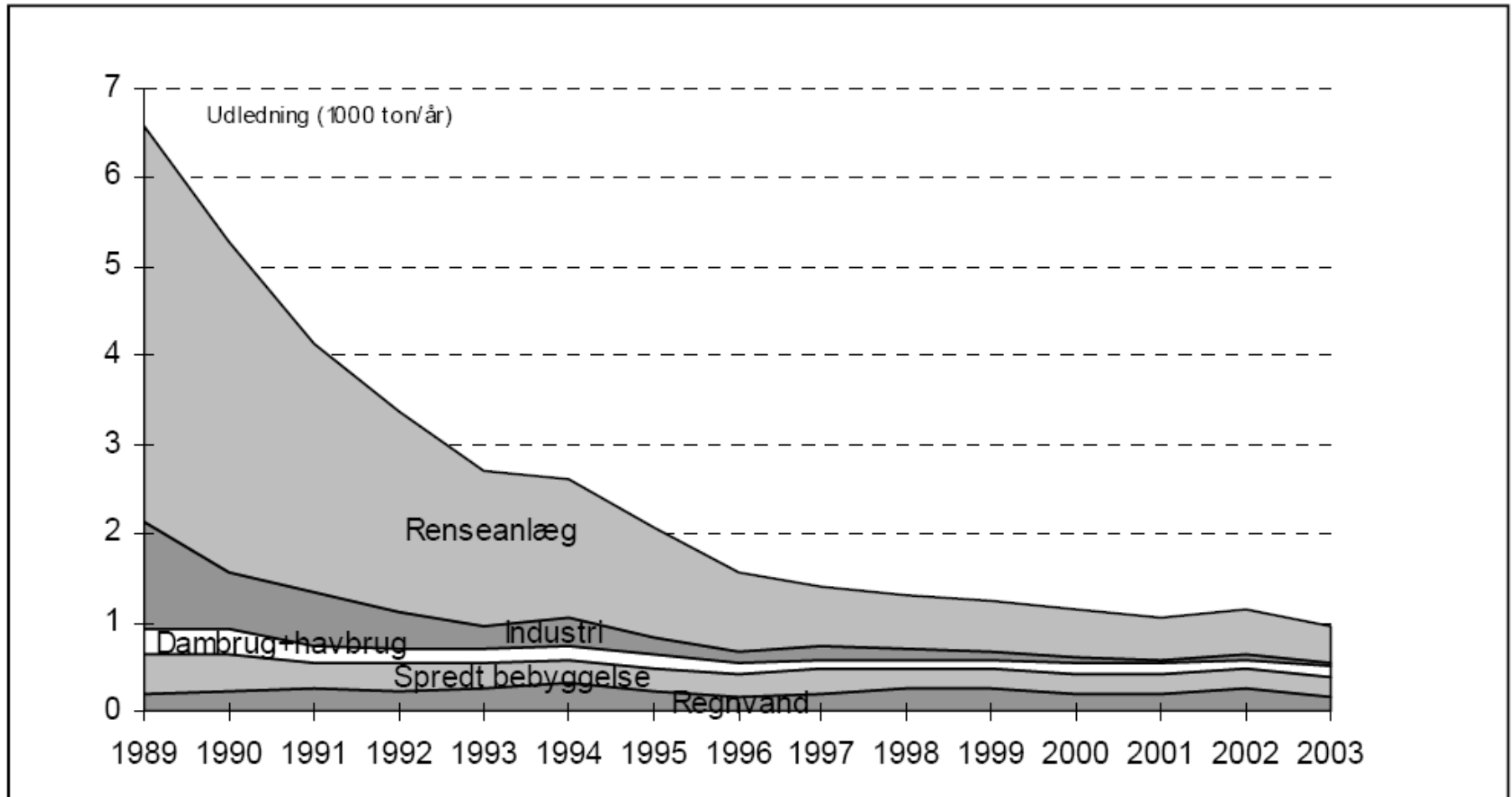
# Har stofindholdet i regnvand ændre sig?

- Amerikanerne har fulgt op på NURP undersøgelsen
- For nyligt konkluderede man, at bortset fra bly, har indholdet af forurenende stoffer i separat regnvand ikke ændret sig de sidste 30-40 år
- Værdierne som amerikanerne fandt i NURP undersøgelsen for 30-40 år siden passer til nutidens forhold i Danmark (bortset fra bly)

# Gener ved udledning af separat regnvand

- Fysiske gener (erosion, oversvømmelse, osv)
- Eutrofiering
- Toksiske effekter

# Eutrofiering: fosfor fra regnbetingede udledninger kan være væsentlig



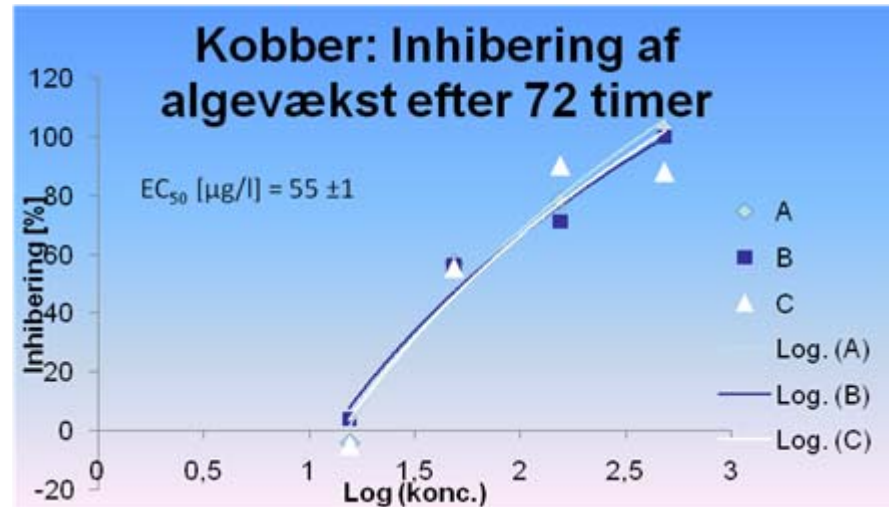
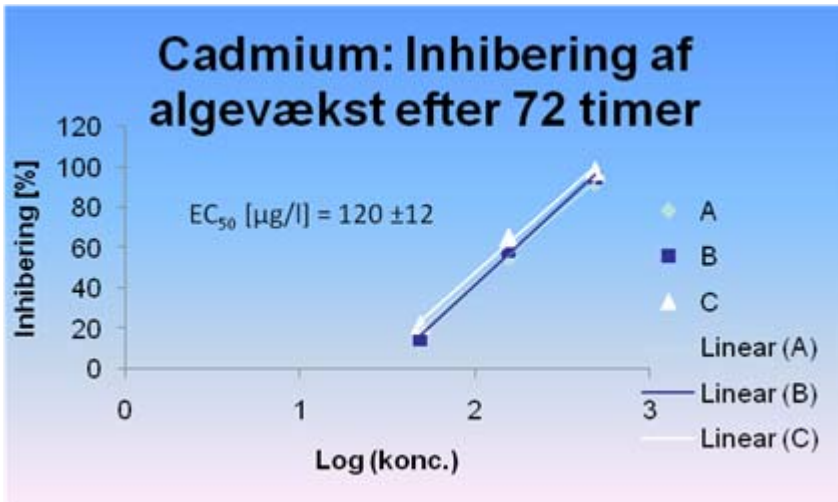
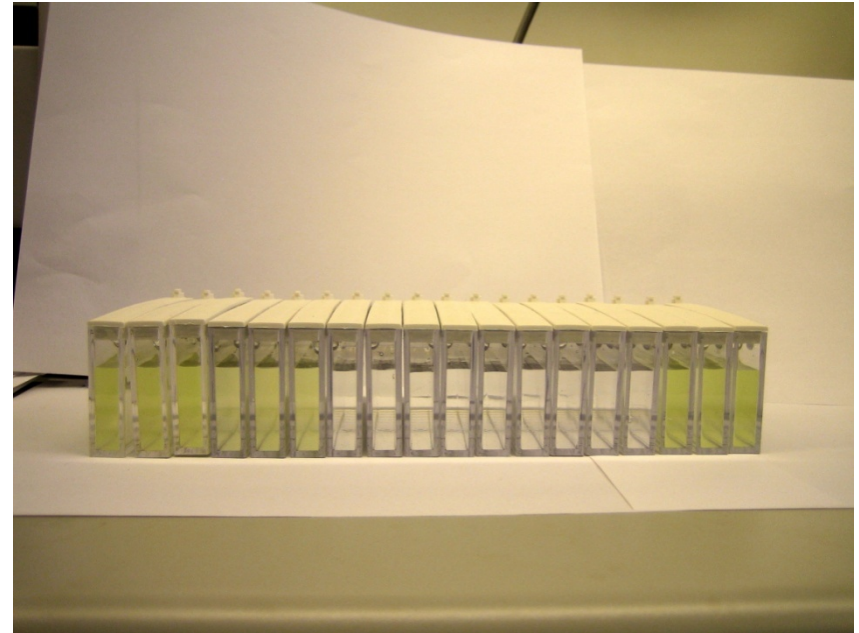
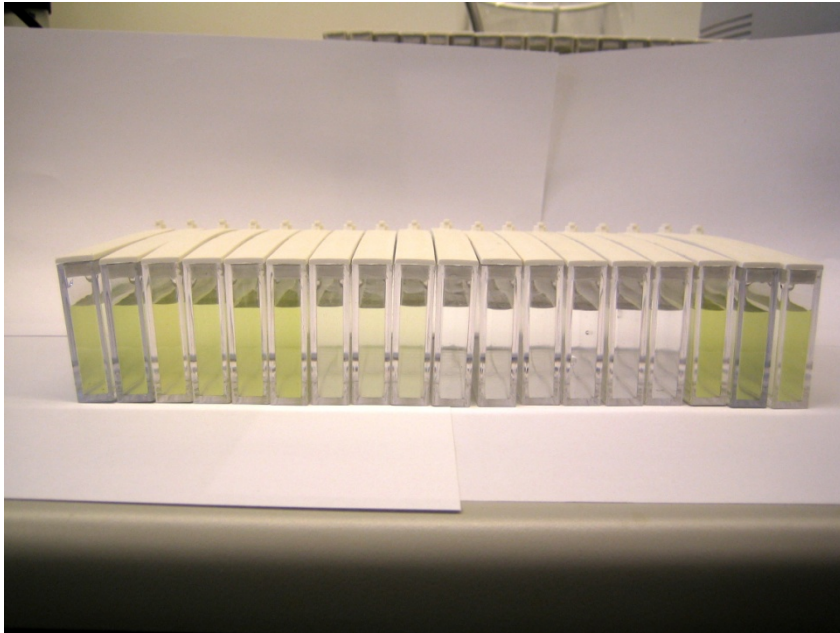
FIGUR 8.6

UDLEDNINGEN AF FOSFOR FRA PUNKTKILDERNE I PERIODE FRA 1989 TIL 2003.

# Toksicitet: betyder miljøfremmede stofferne i regnvand noget?

- Akut toksicitet
  - Målinger af fx  $LC_{50}$  på forskellige arter
  - Muligt at korrelerer udledninger med toksicitet
- Akkumuleret toksicitet i nærrecipienten
  - Undersøgelse af nærrecipients fauna
  - Hvilket stof kommer den toksiske virkning fra?
  - Kan man opstille massebalancer?
- Akkumuleret toksicitet i global fødekæde
  - Undersøgelser af global fauna
  - Yderst vanskeligt at spore tilbage til kilder

# Målemetode for toksicitet – fx algetox



# Akutte effekter i fuld skala

## - amerikanske og canadiske undersøgelser af separat regnvand

96

*J. Marsalek et al. / Urban Water 1 (1999) 91–103*

Table 4  
Toxicity detection at the sites sampled: frequencies and mean TPV<sup>a</sup>

Site name	Land use	Nos. of tests	No toxicity (%)	Potential toxicity (%)	Moderate toxicity (%)	Severe toxicity (%)	Mean TPV
<i>Stormwater sites</i>							
Skyway Bridge MLDH	H	125	44.8	11.7	24.2	19.3	1.17
Urban Creek Kingston	C, R	35	57.1	20	22.9	0	0.63
Parking Lot Kingston	C	40	62.5	12.5	22.5	2.5	0.65
Pond Outflow Kingston	B	35	51.4	34.3	14.3	0	0.63
Highway 2 Scarborough	H	15	40	33.3	26.7	0	0.87
401 MLDH Scarborough	H	14	21.5	35.7	21.4	21.4	1.43
SW Pond Inflow Scarborough	H, R	15	60	26.7	13.3	0	0.53
SW Pond Outflow Scarborough	B	15	60	33.3	6.7	0	0.47
<i>CSO sites</i>							
Kenilworth St.	I, C	15	60	27	13	0	0.53
Lawrence Avenue	R	30	60	30	6.7	3.3	0.53
Melvin Avenue	R	30	63.3	26.7	10	0	0.47
Parkdale Street	I, C	30	56.7	36.7	3.3	3.3	0.53
Queenston Road	R	25	72	43.3	3.4	0	0.52
Royal Avenue	R	30	53.3	43.3	3.4	0	0.50
Sterling Avenue	Inst.	20	45	30	25	0	0.80

<sup>a</sup> B is the BMP outfall, C the Commercial, H the Highway, I the Industrial, R the Residential and Inst. the Institutional land use. MLDH is the Multi Lane Divided Highway, TPV the Toxicity Point Value and SW Stormwater.

# Akutte effekter: variation over en regnhændelse

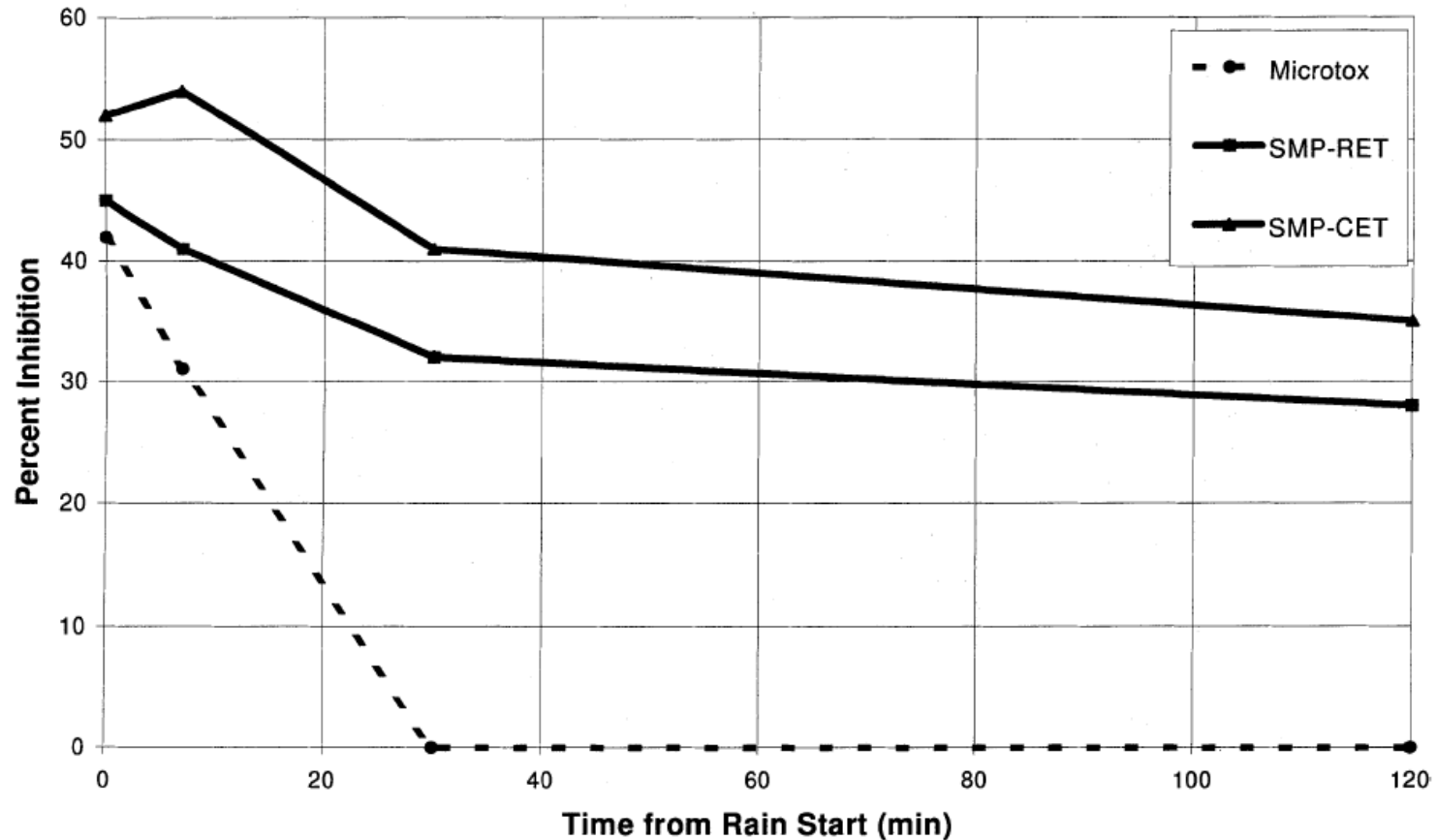
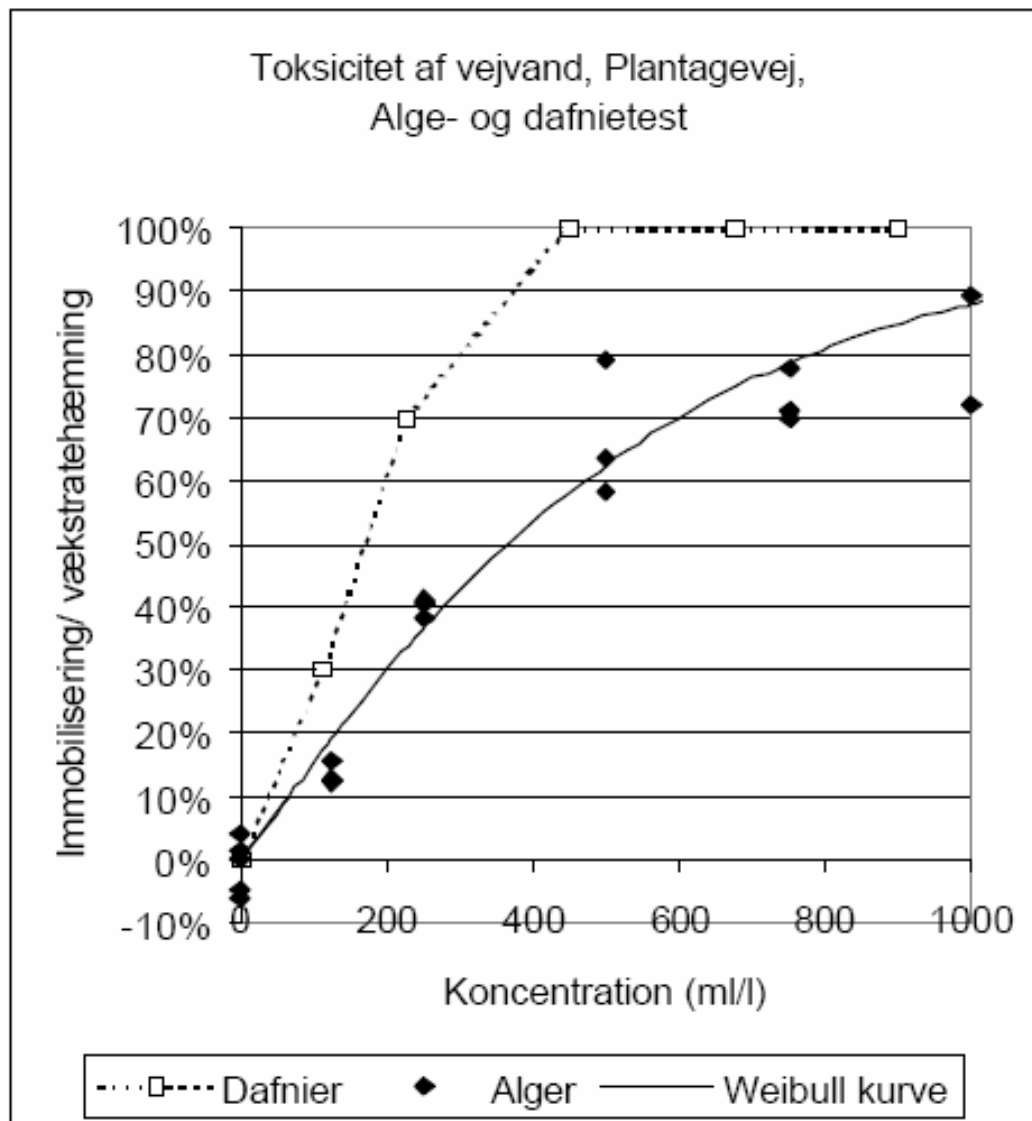


Fig. 1. Toxicity variation during a runoff event (Highway Bridge in Burlington, 22 September 1996).

# Akutte effekter: Danmark (Miljøprojekt 610)



# Akkumulerede effekter

- Yderst vanskeligt at knytte årsag og virkning sammen
- Når der er akutte effekter må det formodes, at der er akkumulerede effekter ved væsentligt lavere koncentrationer
- Det er ikke muligt at ekstrapolere fra en akut effekt til en akkumuleret effekt
- Akkumulerede effekter sker ofte som et samspil mellem mange stoffer

# Forsigtighedsprincippet

- Vi ved:
  - Afstrømmet regnvand indeholder så meget fosfor, at det kan have betydning for lokale recipienter
  - Afstrømmet regnvand kan indeholde akut toksiske koncentrationer af tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer
- Vi ved ikke:
  - Hvor væsentlig den akkumulerede toksitet er
  - Omfanget af stofophobning i fødekæden
  - Hvor store andre kilder er i forhold til regnvand
- Vi skal vælge, om vi vil være forsigtige eller ej

# Hvad gør man andre steder ved separat regnvandsudledning?

- I Europa har man ikke gjort ret meget, man har primært opfattet overløb fra fællessystemer som problematiske
  - Separat regnvand ledes direkte ud, evt. gennem forsinkelsesbassin
- I USA og Canada besluttede man i 70'erne at anvende forsigtighedsprincippet, og man har systematisk renset separat regnvand siden
  - Amerikanerne har erfaringstal og dimensioneringspraksis for samtlige teknologier

# Fremtiden

- Det er som bekendt svært at spå om fremtiden
- De sidste 30-40 år er kun ét stof blevet effektivt udfaset, nemlig bly
- Over de sidste 30-40 år er der dukket yderligere stoffer op, som er kommet i fokus
- Forsvinder kilderne til forurening i fremtiden? Trafik? Bygningsmaterialer?
- Kommer der 'nye til for de gamle som faldt'? Fx pesticider i maling, flammehæmmere, ...
- Skal vi følge forsigtighedsprincippet?