

## Vandkvalitet og vandrensning. Fremtidsperspektiver i en dansk og international sammenhæng.

Rygaard, Martin

*Publication date:*  
2013

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

### Citation (APA):

Rygaard, M. (2013). Vandkvalitet og vandrensning. Fremtidsperspektiver i en dansk og international sammenhæng. Kgs. Lyngby: DTU Miljø. [Lyd og/eller billed produktion (digital)]. HOFOR Temadag, Copenhagen, Danmark, 04/12/2013

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Vandkvalitet og vandrensning

*Fremtidsperspektiver i en dansk og international sammenhæng*

Martin Rygaard, mryg@env.dtu.dk

$$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
$$\int_a^b \mathcal{E} \Theta^\sqrt{17} + \Omega \int \delta e^{i\pi} = \{2.718281828459045\}$$
$$\infty = \chi^2 \sum \gg,$$

# Indhold

- Drikkevandskvalitet
  - Hvad er godt vand?
  - Hvordan smager det?
  - Kan vi sige noget om hvordan det påvirker sundheden?
- Opgør med "Vandets historie"
  - Kan man drikke renset spildevand?
  - De facto reuse

# Hvad er godt vand?

*"Based on a judgement of safety and on risk assessments of waterborne hazards. These Guidelines describe four distinct types of health-based targets, applicable to all types of hazards and water supplies:*

- 1) health outcome targets (e.g. tolerable burdens of disease);*
- 2) water quality targets (e.g. guideline values for chemical hazards);*
- 3) performance targets (e.g. log reductions of specific pathogens);*
- 4) specified technology targets (e.g. application of defined treatment processes).*

*These targets are common components of existing drinking-water guidelines or standards that are used to protect and improve drinking-water quality and, consequently, human health. They provide benchmarks for water suppliers and regulators to confirm the adequacy of existing systems or the need for improvement."* (WHO, 2011)

Guidelines for  
Drinking-water Quality

FOURTH EDITION



World Health Organization

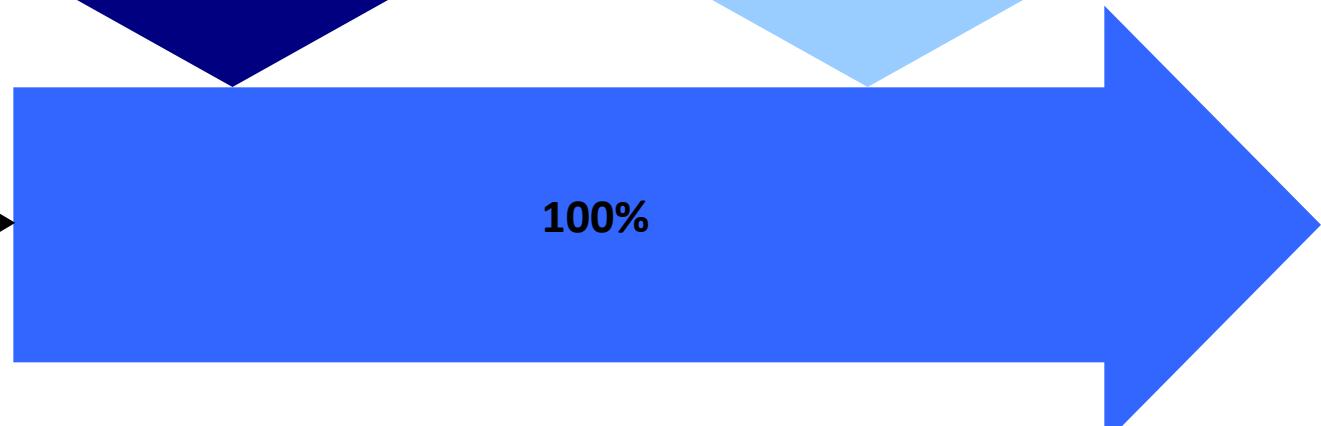
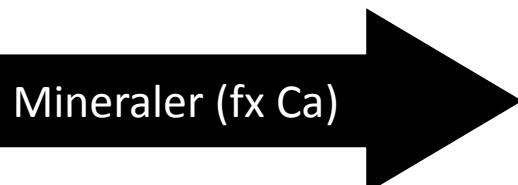
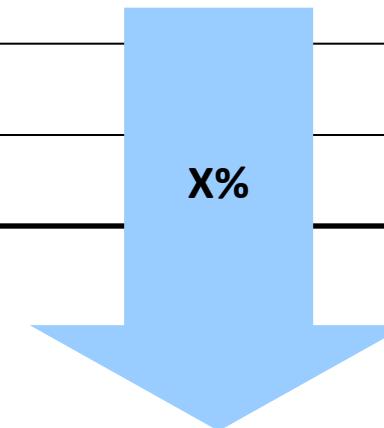
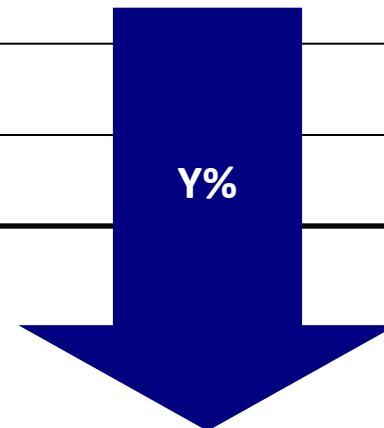
# Kvalitetskriterier er også baseret på pragmatisme!

<b>Parameter (mg/l)</b>	<b>Miljø- ministeriet Danmark (2007)</b>	<b>Australian Government (2004)</b>	<b>% DK utilities fulfilling Australian criteria</b>
Mg	-	-	
Ca	<200	-	
Hardness (dH)	5-30	<11 dH	(25/17%)
F	<1,5	<1,5	
TDS	<1500	<500	(71/47%)

% in brackets is the share of utilities/volume of distributed water that fulfill the guidelines  
Based on BESSY database for 65 utilities and 181 million m<sup>3</sup> distributed in 2005

## Muligheder for at producere en optimal vandkvalitet – ”skräddersy dit drikkevand”

Parameter (mg/l)	Typisk østdansk grundvand	Omvendt osmose filtreret vand
Hårdhed (som CaCO <sub>3</sub> )	373	~0
Ca <sup>2+</sup>	115	~0
Mg <sup>2+</sup>	21	~0
F <sup>-</sup>	0.36	~0
TDS	558	~0



# Skræddersy vandkvaliteten - blødgøring

10 Fritid | Tilkalket

## Det hellige vand

• Det kalkholdige vand på Fyn og Sjælland slører på forbrugernes økonomi og på miljøet. I vores nabolandene fjerner man kalken i vandet, men det er vandværkerne foreløbig ikke indstillet på i Danmark.

Det samme vil ikke skellem og kaffemaskinen i stort sager. For og vandhaner, blandingshanterne i industrien og på badeværelserne, fiser, Husmænd og de andre bruger antelige mængder kalkfejl, der mindsker vandets kvalitet. Det holder kalken stængt, og selv om vaskemaskinen må fyldes godt op for at kompensere for det, bliver det på Fyn og Sjælland.

Visse mennesker har et nærmest religiøst forhold til, at man ikke må endre noget. Derfor er det i præcis næsten umuligt at ændre vandet ved at holde kalken væk.

Erik Arvin, professor, DTU

badeværelset.

Her har vi dog bemærket, at kalkemaskiner bliver længere, og saltforbruget bliver mindre, men også der skal bruges noget strøm på blødgøringen.

Også i Danmark har forskere beskæftiget sig med blødgøring.

Jeg har fundet ud af, at et blødgøringssystem på et givent vand vil have en positiv effekt på vandet og miljøet.

Det, som det kostar at drifte, og miljøet, både vand har på husholdningen,

forskeren Bent Goksøren, der er phd-

student ved Københavns Energio-

u og teknologisk institut.

Nogle af de samfundsmæssige gewin-

ster vil være ferie koeffisienter og vande-

ret, der skal rense ud af spildevandet,

mindre energi forbrug generelt, men også

mere effektiv vandforsyning, fordi

nurene ikke kalkar.

Bent Goksørens kollega Marin Rya-

ard, der er adjunkt ved Danmarks

Landbrugshøjskole, er kommet frem til

nogenhedsvis et resultat.

Han har lavet et studie af, hvad det vil

betyde at sætte den kalkholdige mineralhæ-

væs u i vores drikkevand, og understøttede

med vand.

Min opfattelse er indtil videre, at vi

ikke har fået ved vandkvaliteten, siger

direktør Anne Mariegaard.

- Det er klart, at vi sommer unsvarlige le-

dere af vandforsyningerne skal se på de

muligheder der er hvis forbrugerne ef-

ter kvaliteten af vandet.

Vi har gjort tingene på den samme

måde nu, så vi, fordi vi har superfin

grundvandsvand, der træver meget

helt behandling. Nu vurderer vi om det

er muligt at få lidt større

krav til vandet kommer ud af vandet.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

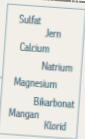
Lørdag 14. maj 2011 FynskeMedier

FynskeMedier Lørdag 14. maj 2011

### Grundvandet

#### Grundvandets naturlige kemi

Grundvandet indeholder forskellige op løste stoffer. En del af disse stoffer kan være farligt for øjen og gen og gennem jorden. De op løste stoffer kommer fra atmosfæren, fra afflynger i jorden og fra menneskernes aktiviteter.



#### Vandets evige kredsløb

Kondensation af det fordampede vand i atmosfæren



Fordampning af overfladevandet og fra vegetation



Nedbning af vand til grundvand



#### Effekter i husholdninger som følge af blødgjort vand

Reduceret forbrug af rengøringsemidler, sæbe og shampoo

Forlænget levetid af husholdningsapparater

Reduceret energiforbrug



Drikkevandets hårdhed

- Under 4 (Ingen blødt)
- 4-8 (Blødt)
- 8-12 (Middelblødt)
- 12-18 (Temmelig hårdt)
- 18-24 (Hårdt)
- 24-30 (Ingen hårdt)
- Over 30 (Extremt hårdt)



Det sunde vand

• Forskere har peget på både fordele og ulykker sundheds-

mæssigt, hvis man fjerner kalk i vandet

det siger, vi skal tage vigtigere

hvor vigtigt forekommende stoffer i grund-

vandet er, fordi de kan være farlige for helse-

og miljøet, siger Erik Arvin, professor i teknologi

og vandforskning ved DTU.

Men eksperterne på Syd-

vedkant er dog anderledes.

Der er ikke rigtig god effekt på

tankvandet, fortæller Erik Arvin, der generelt efterlyser en mere nuanceret debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

grundvandet.

- Det er med til at

beskytte græslandet debat om vo-

resund.

Det er helt unikt, at vi i Dan-

mark udelukkende henter

watervand op fra undergrunden og med simpel

vatvæs-håndhælling, siger

markant, at kalkholdet og

florernes spiller ind.

Vestjylland er det lidt af

en sandkone, der ikke ret

har mange mineraler i vandet,

og det er ikke rigtigt godt på

# Ta' med hjem

Overvejelser om ”optimal vandkvalitet” er relevant:

- Vandets kvalitet behøver ikke bare at være ”tilstrækkelig” god
- ”Den rette vandkvalitet til den rette brug” kan spare ressourcer og penge
- Vi ”designer” allerede vandkvalitet – især i udlandet

# Optimal vandkvalitet

## Smag ved professionelt panel

### Er positive overfor

- Hydrogenkarbonat  $\text{HCO}_3$
- Sulfat  $\text{SO}_4$
- Calcium Ca
- Magnesium Mg

### Er overvejende negative overfor

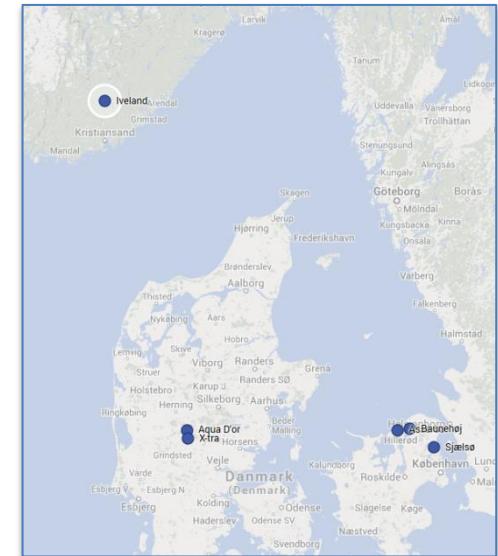
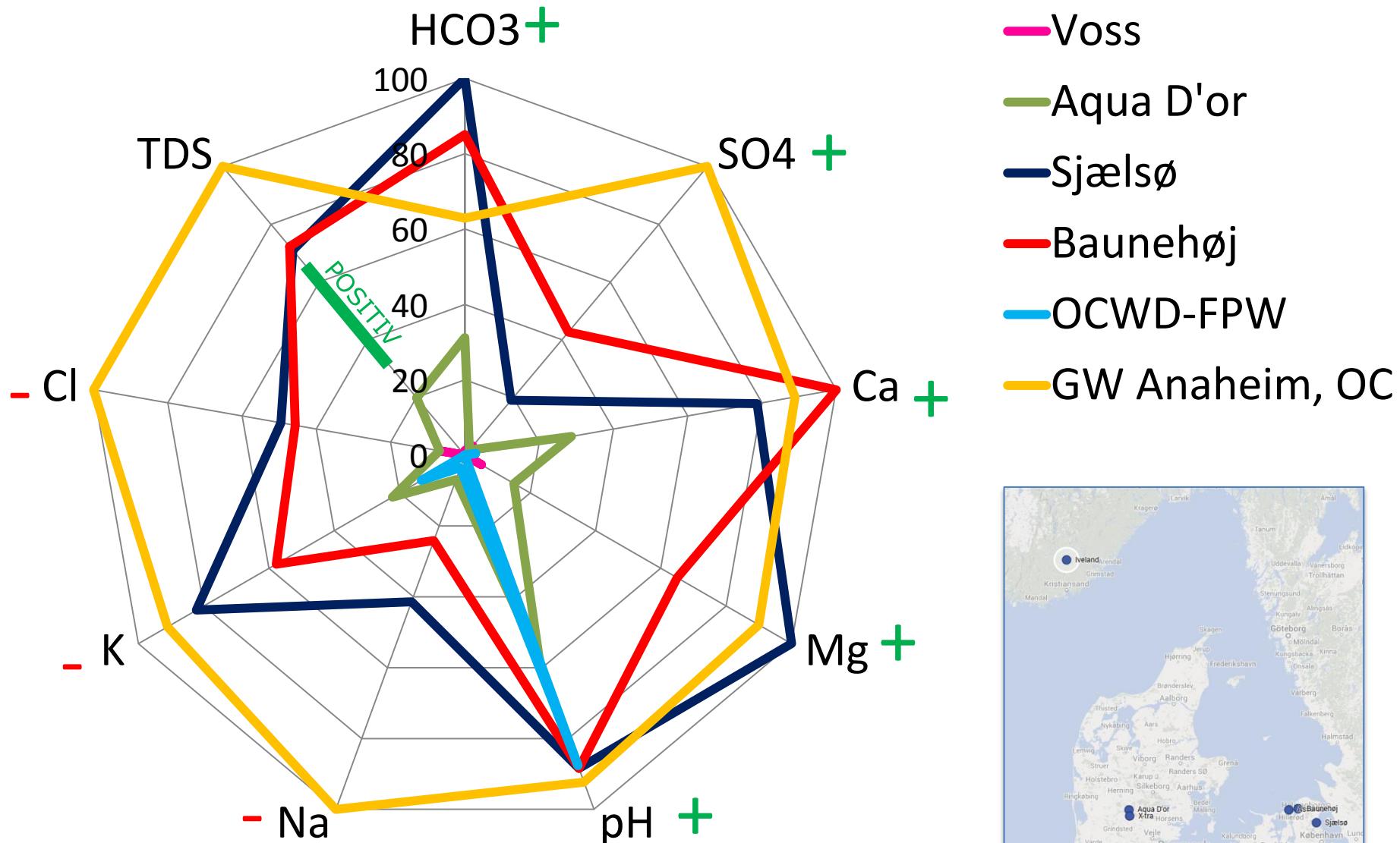
- Natrium Na
- Kalium K
- Klorid Cl
- >800 mg/L Total dissolved solids TDS

### Er overvejende positive overfor

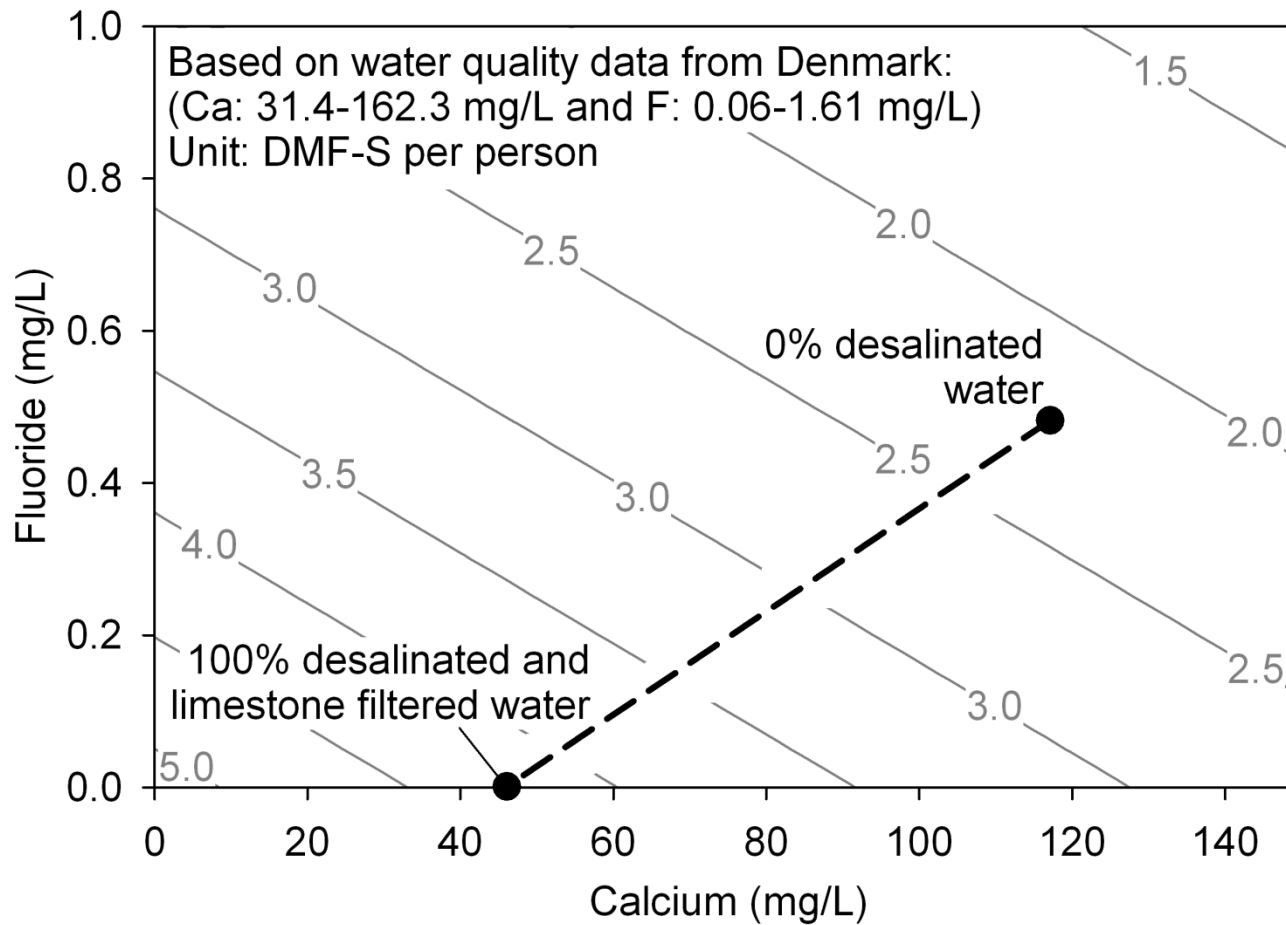
- 200-400 mg/L Total dissolved solids TDS

# Normaliseret påvirkning af smagen

0 laveste målte værdi, 100 højest målte værdi i datasæt



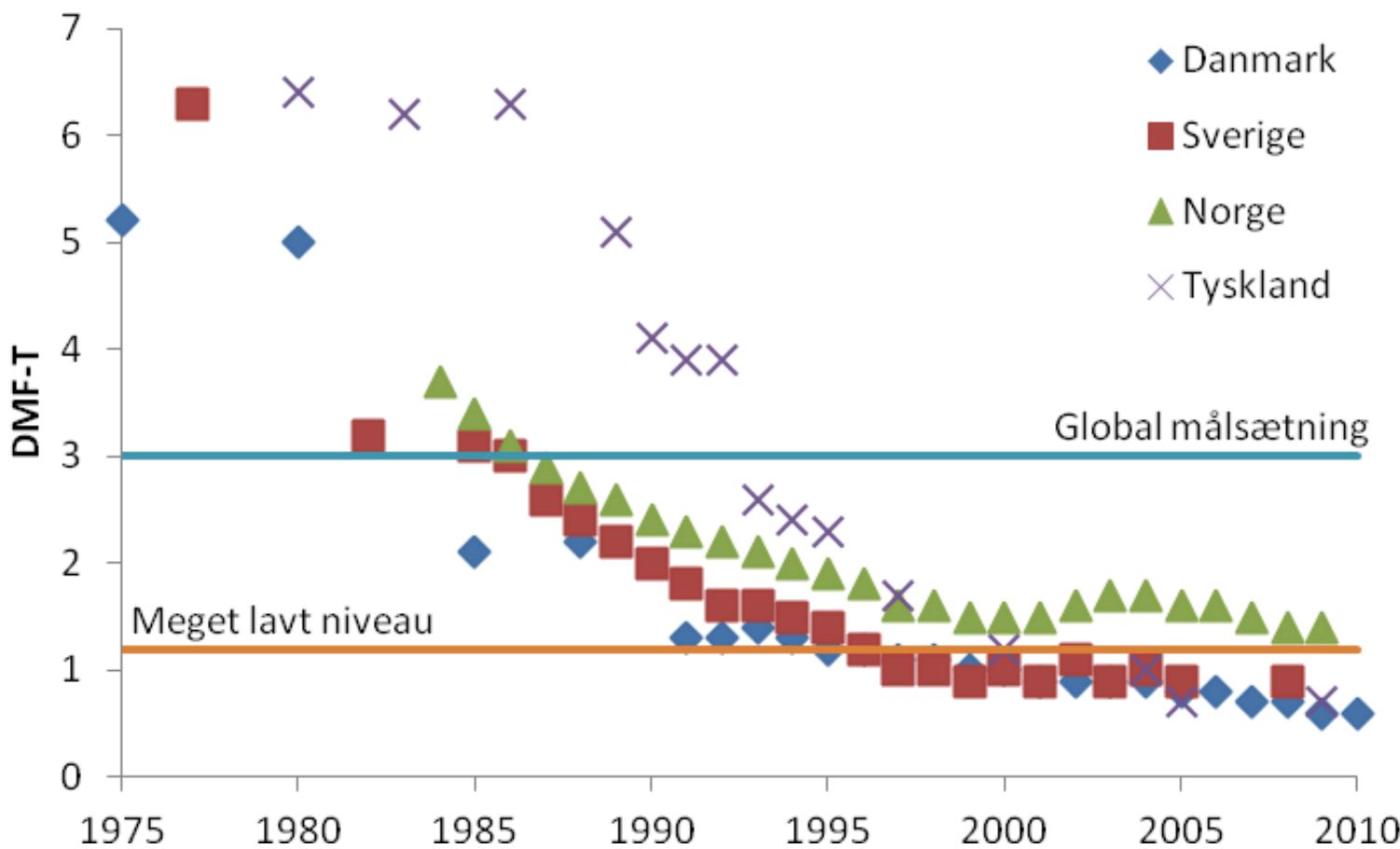
# Optimal vandkvalitet - sundhed



## Decayed, Missing and Filled (DMF) Teeth

### 12-yr.o. uden caries (THL, 2010)

Danmark (2009)	69 %
Sverige (2008)	61 %
Færøerne (2009)	53 %
Norge (2008)	48 %
Finland (2003)	42 %
Island (2005)	34 %



# Ta'-med-hjem

- Der sker en løbende udvikling i forståelsen af ”optimal vandkvalitet”
- Effekterne af selv velkendte sammenhænge er svære at forudbestemme

# Opgør med vandets historie Kan man drikke renset spildevand?



IWA 9<sup>th</sup> Water Reuse Conference  
Windhoek, Namibia



# Gammans WWTP



## Gammans effluent



# Goreangab Reclamation facility



# Offentlig accept

Nogle fællesnævnere fra 300 studier af recirkulering af spildevand:

- Altid en masse skepsis i starten
- Kendskab til systemerne er væsentligt for accept
- Sprogbrug påvirker kraftigt opfattelsen: Overvej brugen af ord som "spildevand, ferskvand, naturligt grundvand og recirkuleret spildevand"



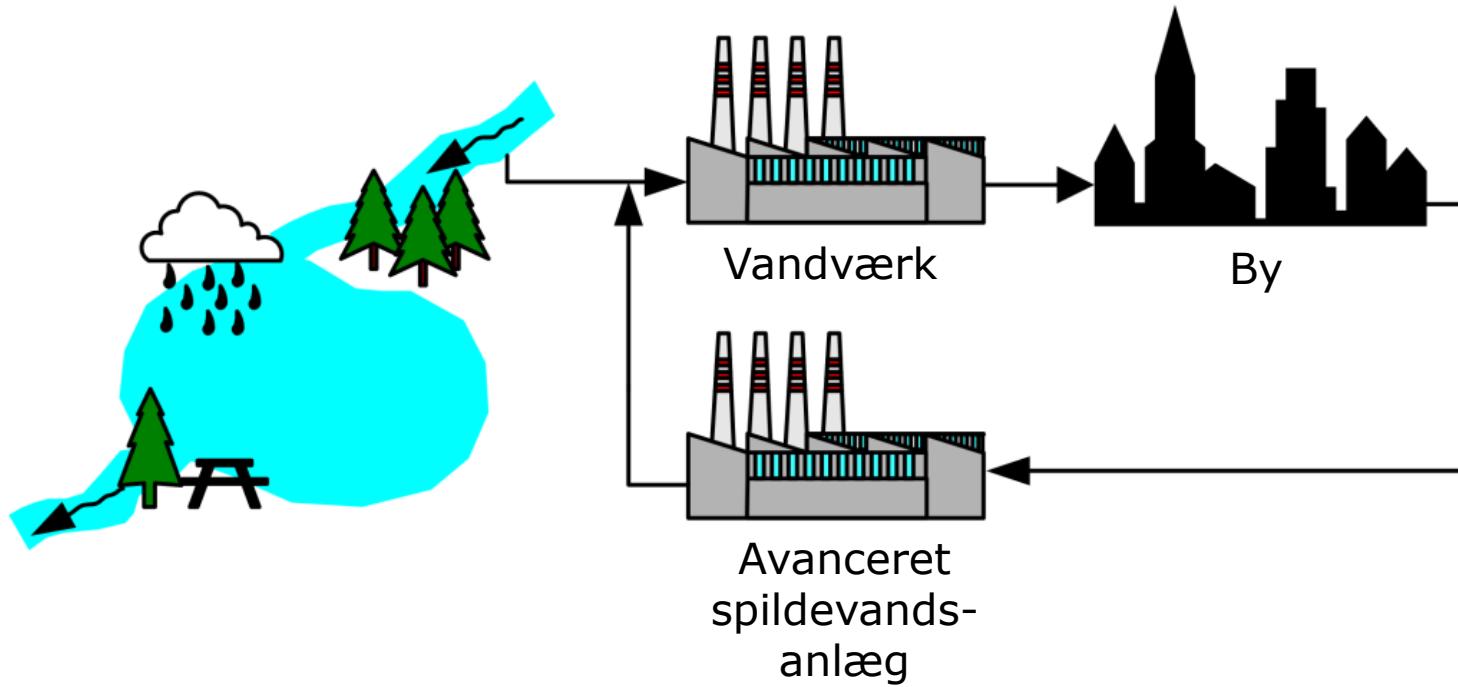


# Risici og vandkvalitet

- At overholde kvalitetskriterier er ingen udfordring. Udfordringen ligger i de “ukendte ukendte” (Shane Snyder)
- Der findes mange eksempler hvor direkte recirkulering af spildevand leverer bedre vandkvalitet en ”naturlige” drikkevandsressourcer, eller ikke-planlagt (de facto) recirkulering (Shane Snyder and others)
- Desinfektionsbiprodukter DBPs er (i USA) den absolut største kilde til uønskede forurenninger af drikkevand. Og de er ikke engang begyndt at kigge på Ozonering og UV. (Shane Snyder)



## Direkte recirklering





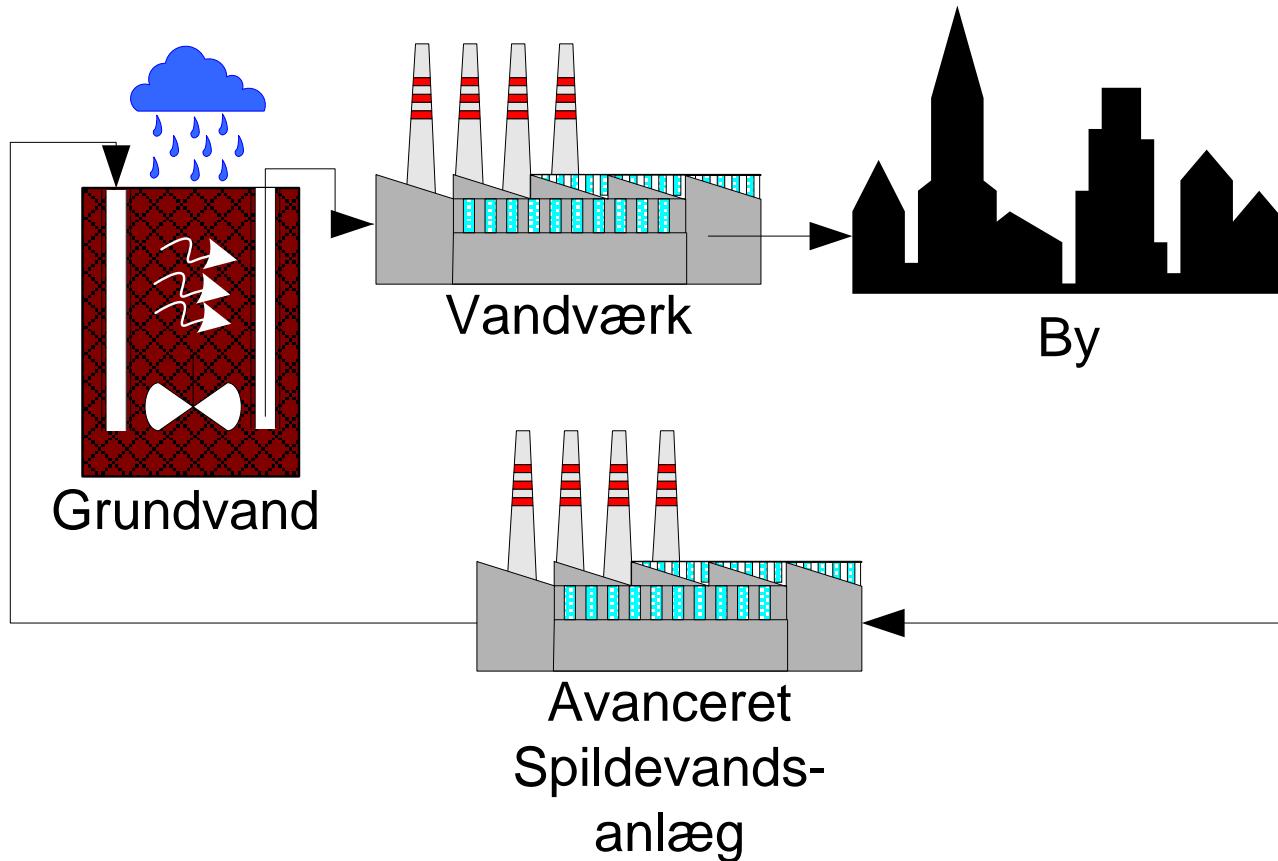
N 144-306 W

Insight

Luxury Coaches

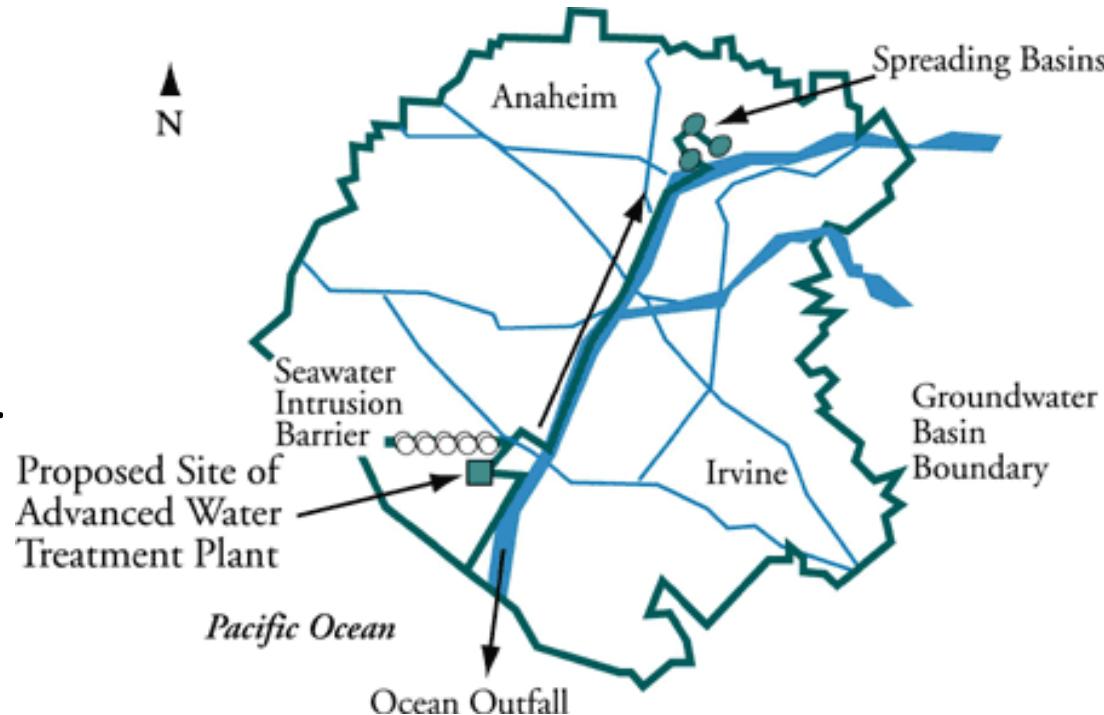
# Recirkulering til drikkevand

## Indirekte recirkulering

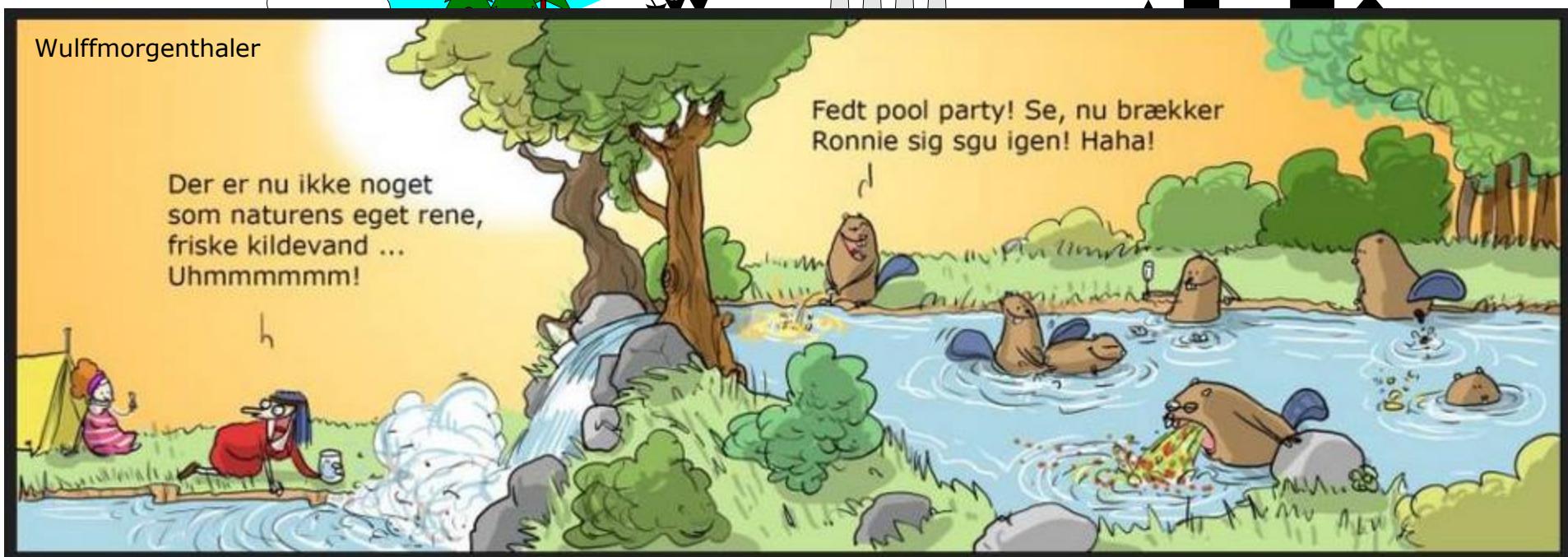


# Recirkulering Orange County, USA

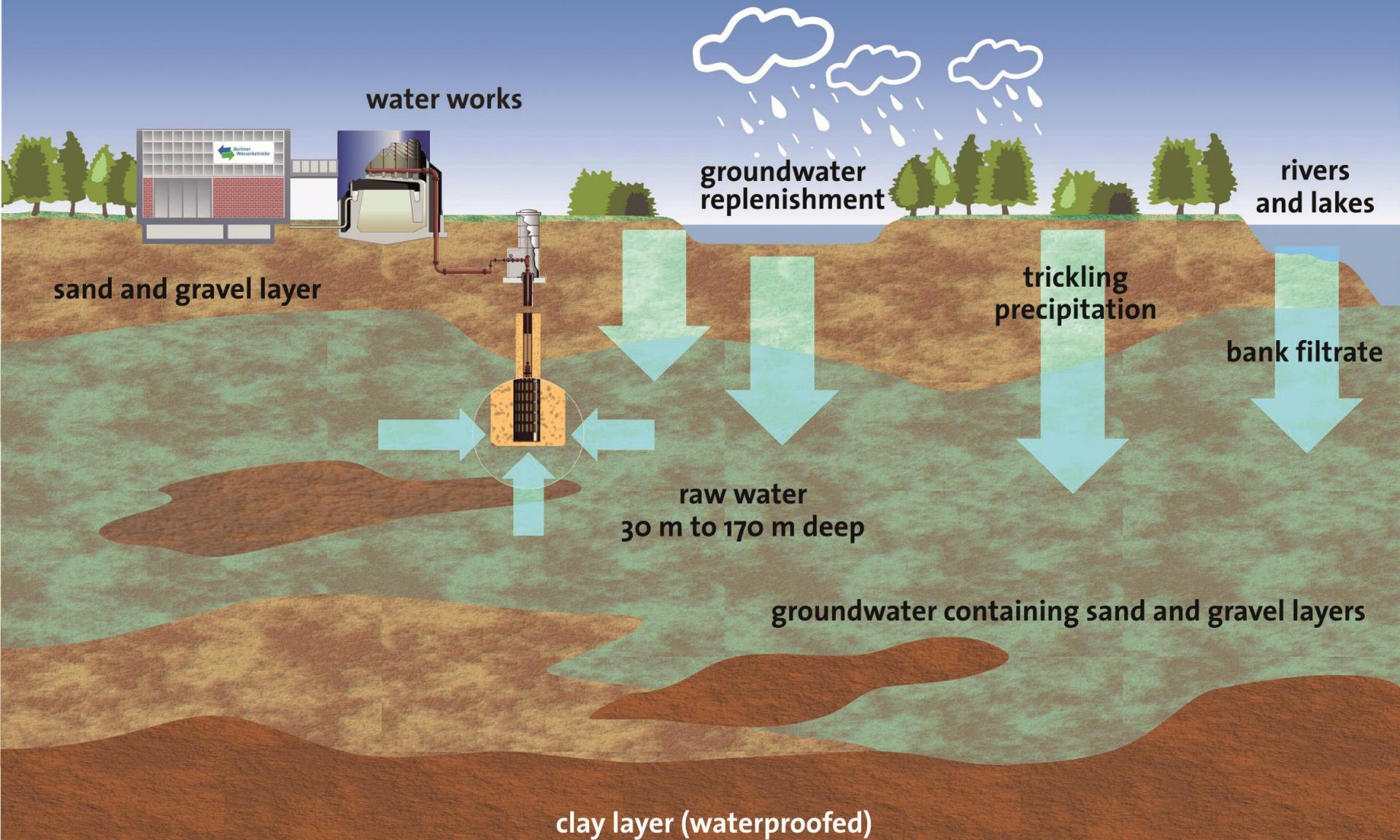
- 2,3 mio. indb. 900 km<sup>2</sup>
- Recirkulering siden 1975 (21 mio. m<sup>3</sup>/år)
- Fra 2007: 97 mio. m<sup>3</sup>/år
- Infiltreres/injiceres til akvifer hvorfra der oppumpes 333 mio. m<sup>3</sup>/år
- Vandbank
- Ca. 2,5 kr./m<sup>3</sup> recirkuleret vand



Ikke planlagt indirekte recirkulering, pga. opstrøms spildevandsudledning



In English: "de facto recirculation" or "unplanned recirculation"



# De facto reuse ved grundvandsindvinding i bynære områder?

*"Even when cased through an aquitard into a confined aquifer, wells sited in urban environments are more vulnerable to virus contamination than often believed."* (Bradbury et al. 2013)

dx.doi.org/10.1021/es400509b | Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 4096–4103

Sample round	median sample date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
viruses in sewage		14-Sep-07	24-Oct-07	26-Nov-07	19-Dec-07	24-Jan-08	26-Feb-08	24-Mar-08	28-Apr-08	27-May-08	7-Jul-08	28-Jul-08	25-Aug-08	17-Sep-08	29-Sep-08	13-Oct-08	27-Oct-08	10-Nov-08	2-Dec-08	16-Dec-08	7-Jan-09	23-Jan-09	3-Feb-09	16-Feb-09	11-Mar-09	31-Mar-09	27-Apr-09
Adeno41	orange												orange														
Adeno31			blue										blue														
Adeno2	yellow	yellow			yellow	yellow																				yellow	
Echo3		red																									
Echo30																											
Adeno7											green																
Echo11	blue	blue			blue	blue																					
CoxA16																											
CoxB3			green																								
CoxB4			green																								
viruses in groundwater		14-Sep-07	24-Oct-07	26-Nov-07	19-Dec-07	24-Jan-08	26-Feb-08	24-Mar-08	28-Apr-08	27-May-08	7-Jul-08	28-Jul-08	25-Aug-08	17-Sep-08	29-Sep-08	13-Oct-08	27-Oct-08	10-Nov-08	2-Dec-08	16-Dec-08	7-Jan-09	23-Jan-09	3-Feb-09	16-Feb-09	11-Mar-09	31-Mar-09	27-Apr-09
Adeno41	orange												orange														
Adeno31						blue							blue				blue	blue							blue		
Adeno2	yellow					yellow	yellow											yellow									
Echo3		red											red	red													
Echo30																											
Adeno7	green					green							green	green													
Echo11	blue	blue						blue																			
CoxA16																											
CoxB3																			blue								
CoxB4																								green			

# Ta' med hjem

- Drikkevand fra spildevand er ikke en teknologisk udfordring
- Der er tale om drikkevandskvalitet, der uden problemer overholder WHO/EU/USEPA standarder
- Helhedsorienterede analyser er en mangelvare. Fokus er på vandressourcer, sundhedsrisici, økonomi, drivhuseffekt (ikke-tilfældig rækkefølge)
- At skelne mellem “recirkuleret vand” og “naturligt vand” er vildledende – der er brug for en ny terminologi på området

Det er et internationalt paradigmeskifte  
Også et dansk paradigmeskifte?

