

Waterkwaliteit 1: Eisen/microbiologie

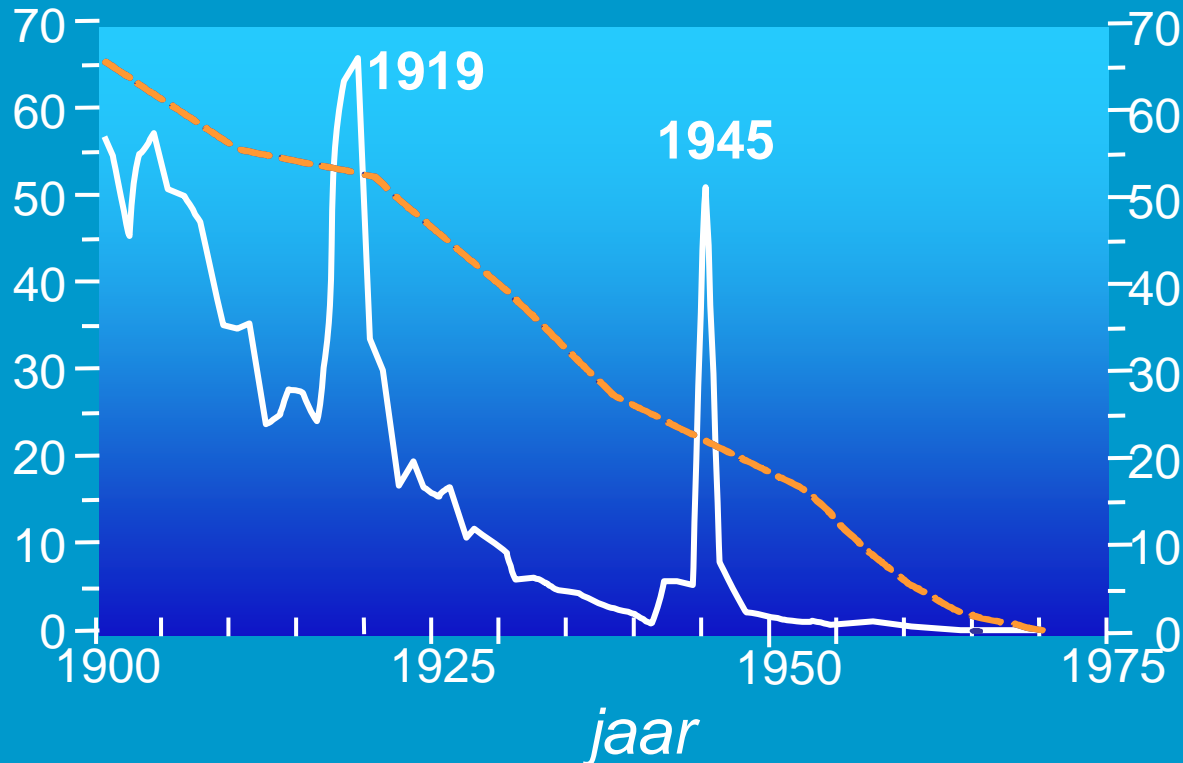
Prof. ir. Hans van Dijk



Schoon water voor een gezond leven..

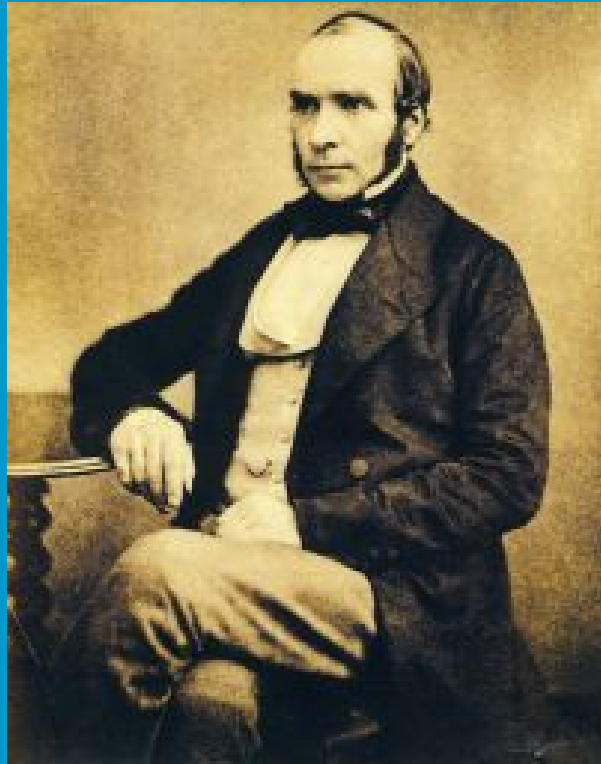
(voorbeeld buiktyphus in Nederland)

sterfte per 100.000 inwoners — % niet- aangesloten op drinkwater

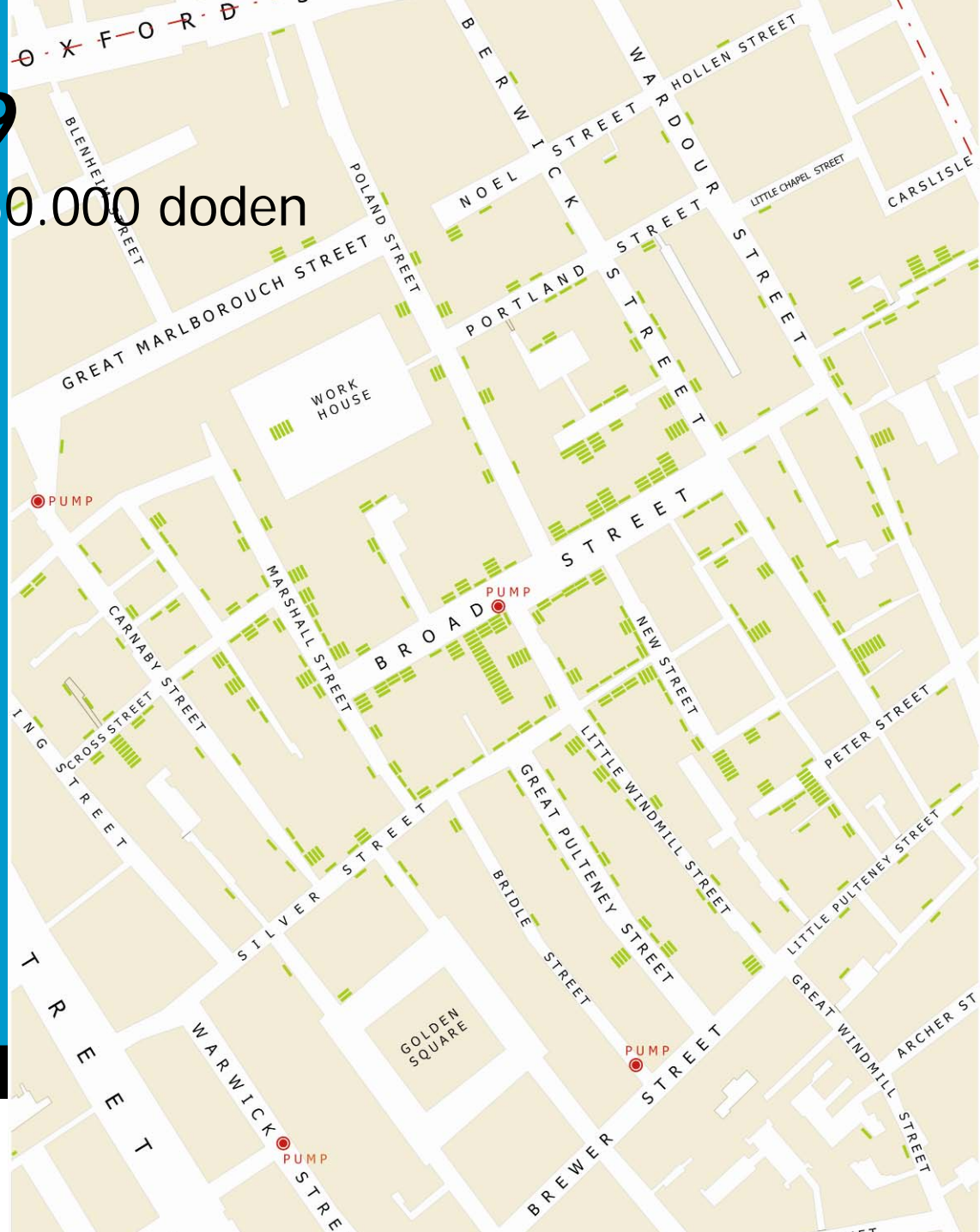


Engeland 1849

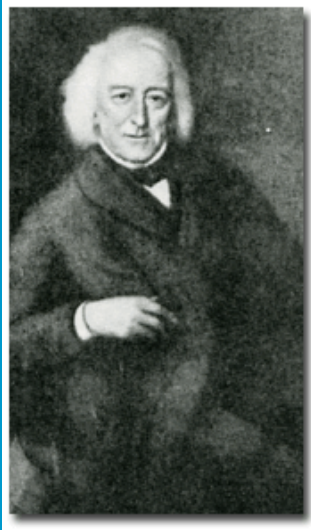
Cholera veroorzaakte 50.000 doden



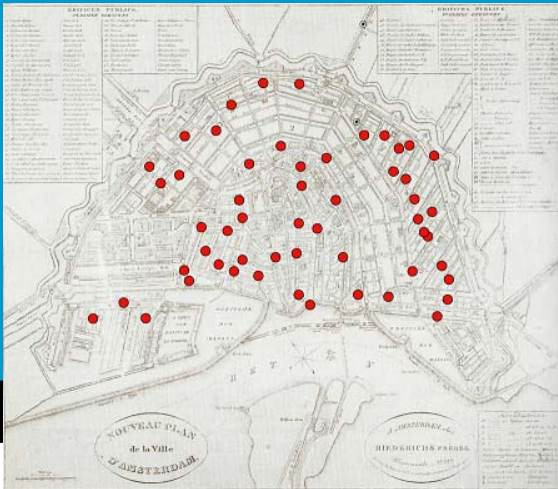
Cholera in kaart gebracht door John Snow



Duinwatermaatschappij 1853



- Particulier initiatief van Jacob van Lennip
- Gemeente vindt hem een fantast
- Kapitaal van de graaf van Portland (2,4 miljoen gulden)
- Geen cholera in Amsterdam bij epidemie van 1866 ('rapport aan den Koning')



Water borne diseases

Bacteriën (typhus, cholera)

Virussen (hepatitus, polio)

Protozoa (darm- en maagklachten)

Cholera, tyfus en legionellose

Cholera

- vorige eeuw (doden): 66.723
- huidige frequentie (ziekte): 0 à 3 /jaar

Tyfus

- van 1900-1950 (zieken): 74.245
- huidige frequentie (gemiddeld): 65/jaar

Legionella-pneumonie ('veteranenziekte')

- frequentie (1988-1995): 44/jaar

Bepaling microbiologische betrouwbaarheid van drinkwater

Indicator-organisme: Escherichia coli

Aanwezig in faecaal materiaal (FM):	10 miljoen E. coli per gram FM
Kwaliteitseis voor drinkwater:	minder dan 1 E. coli per 100 ml

⇒ **minder dan 1 μ g FM/l drinkwater**

Ziekteverwekkende protozoa

Milwaukee, 1993: uitbraak van cryptosporidiose

- 403.000 personen ziek
- bacteriën coligroep niet aangetoond

Persistente protozoa aanwezig in oppervlaktewater

- herziening wetgeving (in V.S.)
- kwaliteit op basis van verwijderingscapaciteit van de zuivering

Eisen microbiologische kwaliteit van drinkwater

Hygiënische aspecten

- afwezigheid van indicator organismen
- risico op infectie $< 10^{-4}$ per persoon per jaar

Esthetische en bedrijfstechnische aspecten

- geen vermeerdering van micro-organismen tijdens transport en distributie

Besmetting leidingnet



Handhaving microbiologische kwaliteit van water tijdens distributie

Voorkomen van (her)besmetting

- good engineering practice
- monitoring/correctieve maatregelen

Voorkomen van nagroei

- biologisch stabiel drinkwater
- biologisch stabiele materialen

Grondwater is (meestal) microbiologisch betrouwbaar!



Kenmerken grondwater

Voordelen

- hygiënische betrouwbaarheid
- constante temperatuur
- biologische en chemische stabiliteit
- gelijkmatige goede kwaliteit
- ongevoelig voor calamiteiten

Nadelen

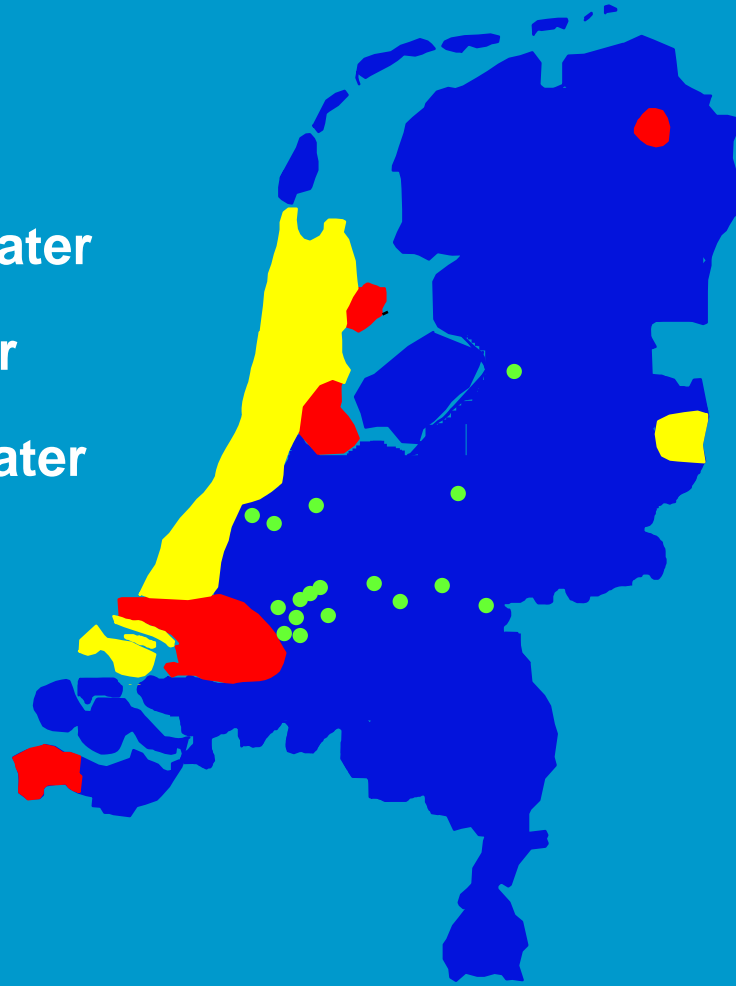
- beperkte beschikbaarheid
- vrij groot ruimtebeslag

Opzet infrastructuur

- kleinschalig

Bronnen van drinkwater

- grondwater
- oppervlaktewater
- infiltratiewater
- oevergrondwater



Leidingwater is drinkwater!

Microbiologisch betrouwbaar

Geen chemische verontreiniging

Drinkwater zonder chloor

Laag lekverlies

Hoe zuiver is water?

Soort stof	Typische concentratie	Eenheid	Massa (in olympisch zwembad van 2.000m ³) (kg)	Hoeveelheid
Zeezout	36	g/l	72.000	3 vrachtauto's
Slib	10 (1%)	g/kg	20.000	1 vrachtauto
Opgeloste stof	1.500	mg/l	3.000	1 bestelwagen
Nitraat	50	mg/l	100	2 vaten
Gif licht	10	µg/l	0,02	1 theelepeltje
Gif zwaar	0,1	µg/l	0,0002	1 korreltje
Hormoonverstorende stof	1	ng/l	0,000002	1/1000 korreltje

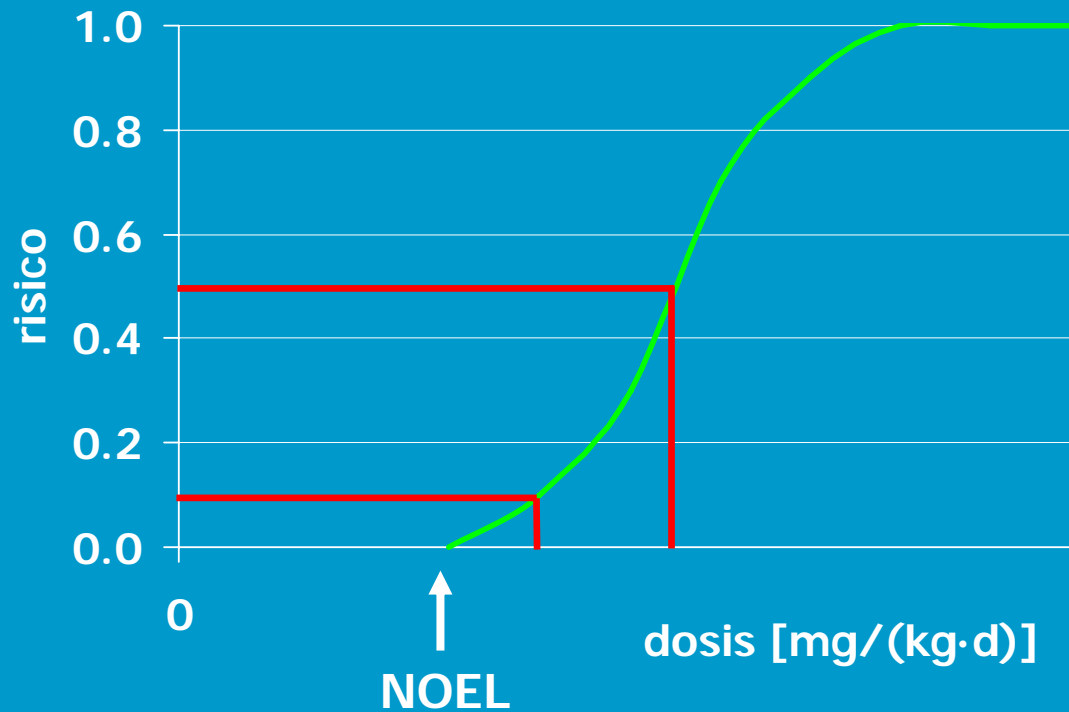
Soorten normen

1. Gezondheidstechnische / toxicologische normen
2. Organoleptische / esthetische normen
3. Bedrijfstechnische normen
4. Voorzorgsnormen
5. Normen in praktijk

Gezondheidstechnische / toxicologische normen

- pathogene micro-organismen: virussen, bacteriën, Giardia, Cryptosporidium
- anorganische macro-parameters: nitraat, fluoride, natrium
- anorganische micro-parameters: arseen, kwik, bromaat
- organische micro-verontreinigingen: trihalomethanen, bestrijdingsmiddelen

Toxische verbindingen met drempelwaarde



NOEL
↓
TDI
↓
MAC

Voorbeeld berekening MAC

Maximum allowable concentration van nikkel in water

NOEL_{Ni} bij dieren = 5 mg/(kg·d)

Veiligheidsfactor 1000

NOEL_{Ni} bij mensen = 5 μg /(kg·d)

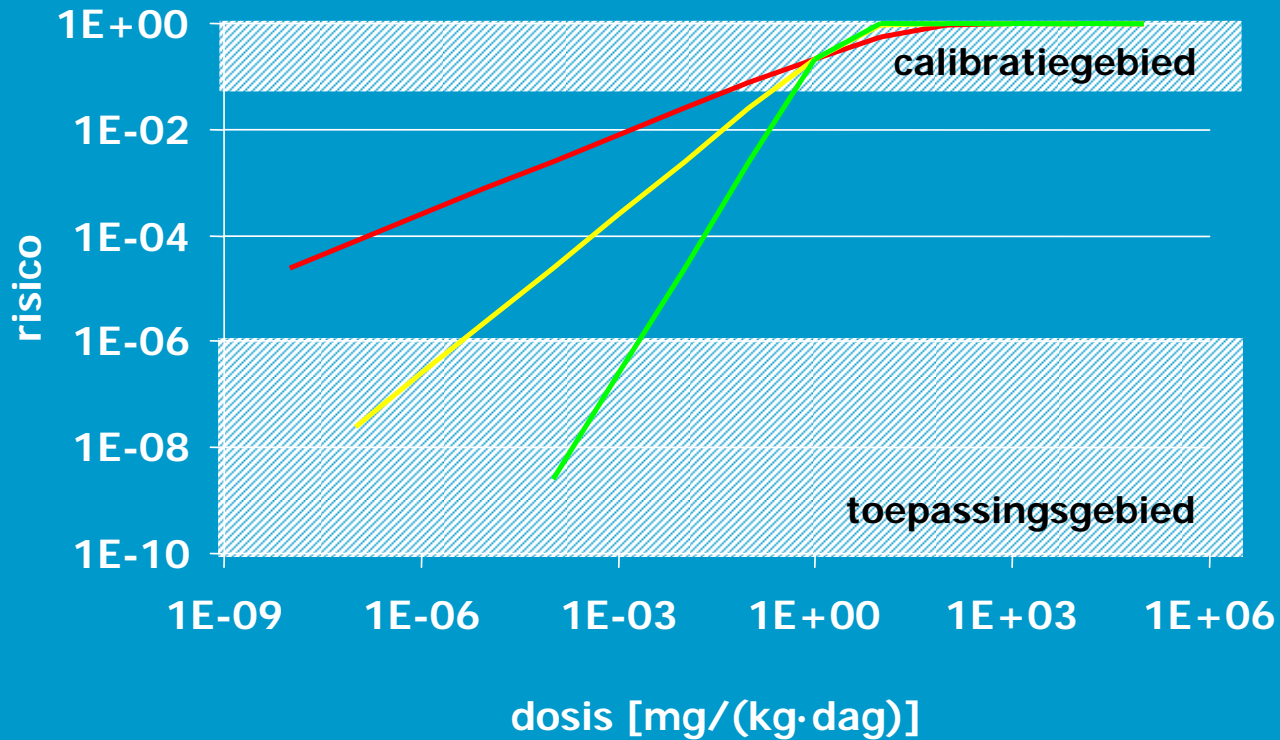
$\text{TDI} = \text{NOEL} \cdot \text{gewicht mens} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0.3 \text{ mg/d}$

Geaccepteerde bijdrage van drinkwater aan TDI = 10%

Dagelijkse drinkwater consumptie: 2 l/d

$$\begin{aligned} \text{MAC} &= \frac{\text{TDI}}{\text{water verbruik per dag} \cdot \text{maximaal toegestane bijdrage drinkwater aan TDI}} \\ &= \frac{0.3}{2 \cdot 10} = 15 \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

Relatie risico en dosis voor carcinogene verbindingen



Risico's van activiteiten

Activiteit

Overlijdensrisico per persoon per jaar

Vrijwillig

Roken	$5 \cdot 10^{-3}$
Motorrijden	$2 \cdot 10^{-3}$
Bergbeklimmen	$4 \cdot 10^{-5}$
Vliegtuigongeluk	$2 \cdot 10^{-8}$

Onvrijwillig

Griep	$2 \cdot 10^{-4}$
Overstroming	$1 \cdot 10^{-6}$
Drinkwater (WLB)	$1 \cdot 10^{-8}$

Waterleidingbesluit

Gezondheidstechnische/toxicologische normen

Microbiologische parameters

E-coli	0 KVE/100 ml
Cryptosporidium	niet in een zodanige concentratie in het leidingwater voorkomend dat gevaar voor volksgezondheid kan ontstaan

Chemische parameters

Arseen	10 µg/l
Fluoride	1.1 mg/l
Kwik	1.0 µg/l
Nitraat	50 mg/l
Pesticiden (individueel)	0.10 µg/l
Pesticiden (som)	0.50 µg/l
Trihalomethanen (THM)	25 µg/l
Bromaat	1,0 µg/l

Voorbeeld pompstation Amersfoort

Intrekgebied: 4 x 4 km²

Neerslag: 0,3 m/a (16.000.000 m² x 0,3 m/a)

Q = 5.000.000 m³/a

NO₃⁻ = 50 mg/l = 50 g/m³ = 250.000 kg/a

BM = 0,1 µg/l = 0,1 mg/m³ = 0,5 kg/a

Organoleptische /esthetische normen

Temperatuur

Kleur

Troebling

Reuk

Smaak



Waterleidingbesluit

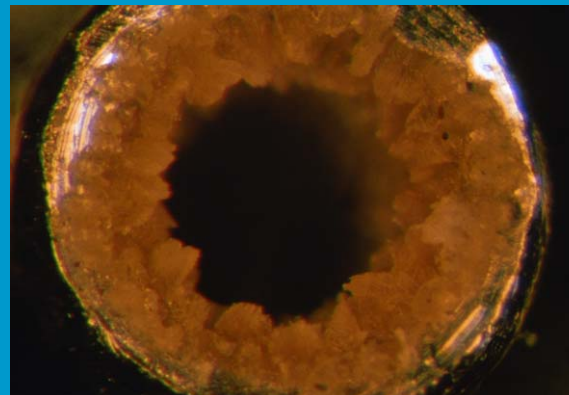
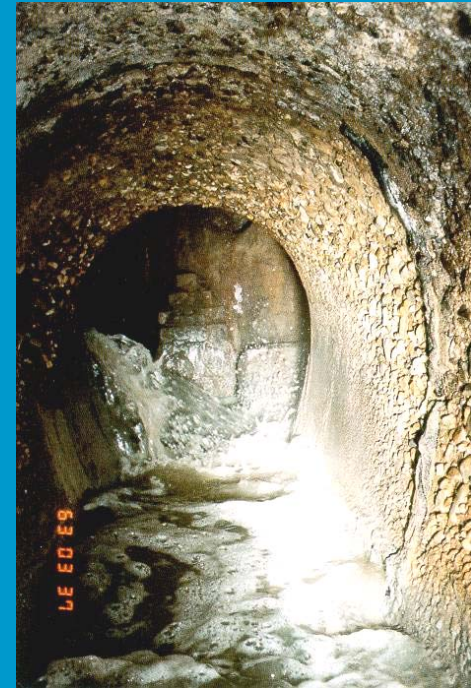
Organoleptische/esthetische parameters

Aluminium	200 µg/l
Geur	aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering
Kleur	20 mg/l Pt/Co
IJzer	200 µg/l
Mangaan	50 µg/l
Natrium	150 mg/l
Smaak	aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering
Sulfaat	150 mg/l
Troebelingsgraad	4 FTU
Zink	3.0 mg/l

Bedrijfstechnische normen

Levensduur installaties

Agressiviteit:	SI, Cl-
Kalkafzetting:	SI, TH
Bacterie-nagroei:	AOC



Waterleidingbesluit

Bedrijfstechnische parameters

Aeromonas (60°C)	1000 KVE/100 ml
Ammonium	0.20 mg/l
Chloride	150 mg/l
DOC/TOC	geen abnormale verandering
Geleidingsvermogen (20° C)	125 mS/m
Hardheid (totaal)	1 < totale hardheid < 2.5 mmol/l
Saturatie Index	> -0.2 SI
Temperatuur	25 °C
Waterstofcarbonaat	> 60 mg/l
Zuurgraad	7.0 < pH < 9.5
Zuurstof	> 2 mg/l

Voorzorgs-(ethische) normen

Waterbedrijf eist verbod op Bentazon

Van onze verslaggever

AMSTERDAM

Drinkwaterbedrijven, verenigd in de Vewin, en de milieubeweging eisen apart van elkaar bij de rechter een verbod op het gebruik van een groot aantal bestrijdingsmiddelen. De waterbedrijven willen dat met name het bestrijdingsmiddel Bentazon uit de handel wordt genomen. De milieclubs willen dat de toelating van 150 middelen wordt beëindigd totdat bewezen is dat ze voldoen aan de wettelijke eisen.

De procedures zijn aangespannen bij het College van Beroep voor het Bedrijfsleven. Dat college doet volgende week al uitspraak over het gevraagde verbod op Bentazon.

Het bestrijdingsmiddel, bekend van de Sandoz-lozing op de Rijn in 1986 en in Nederland vooral gebruikt op maispercelen, vormt veruit het grootste probleem voor drinkwaterbedrijven.

Volgens de Vewin wordt het middel inmiddels in zeventig waterputten aangetroffen in gehalten die de wettelijke norm van 1 microgram per liter overschrijden. Op die locaties moet het drinkwater extra worden gezuiverd om verantwoord drinkwater te kunnen produceren. Die procedure kost volgens woordvoerder L. Joosten van Vewin onnodig veel geld.

Volgens de producent van Ben-

tazon, het chemisch concern BASF, staat echter niet vast dat de drinkwaterputten via het grondwater worden besmet. Dat zou ook per ongeluk via het oppervlaktewater kunnen gebeuren. Een verbod is volgens BASF daarom niet nodig.

De stichting Natuur en Milieu en de Zuid-Hollandse Milieufederatie vinden de actie van Vewin niet ver genoeg gaan. Volgens de organisaties moeten 150 middelen worden verboden totdat ze zijn getoetst op schadelijke gevolgen voor het milieu. De wettelijke termijn voor de toelating van deze middelen is verlopen.

Het College voor de Toelating van Bestrijdingsmiddelen zegt onvoldoende capaciteit te hebben om op korte termijn 150 dossiers te beoordelen. De betrokken middelen zouden bovendien relatief weinig milieuschade veroorzaken, waardoor de formele toelating kan wachten op de invoering van Europese regels.

Bestrijdingsmiddelen verontreinigen in toenemende mate het drinkwater. De inname van Rijnwater is hierdoor afgelopen anderhalf jaar vaker gestaakt dan ooit tevoren. 'Het grootste probleem ligt in het toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen', stelt Vewin. 'In Nederland, Duitsland noch België wordt bij de toelating getoetst wat de risico's zijn voor de drinkwaterwinning.'

Zie ook Wetenschap

Patrick Smeets, 1 Oktober 2007



Microbiologische risico's van drinkwater

TU Delft

Drinkwater is toch veilig?



Microbiologische risico's in ontwikkelde landen door 'Ongelukken'

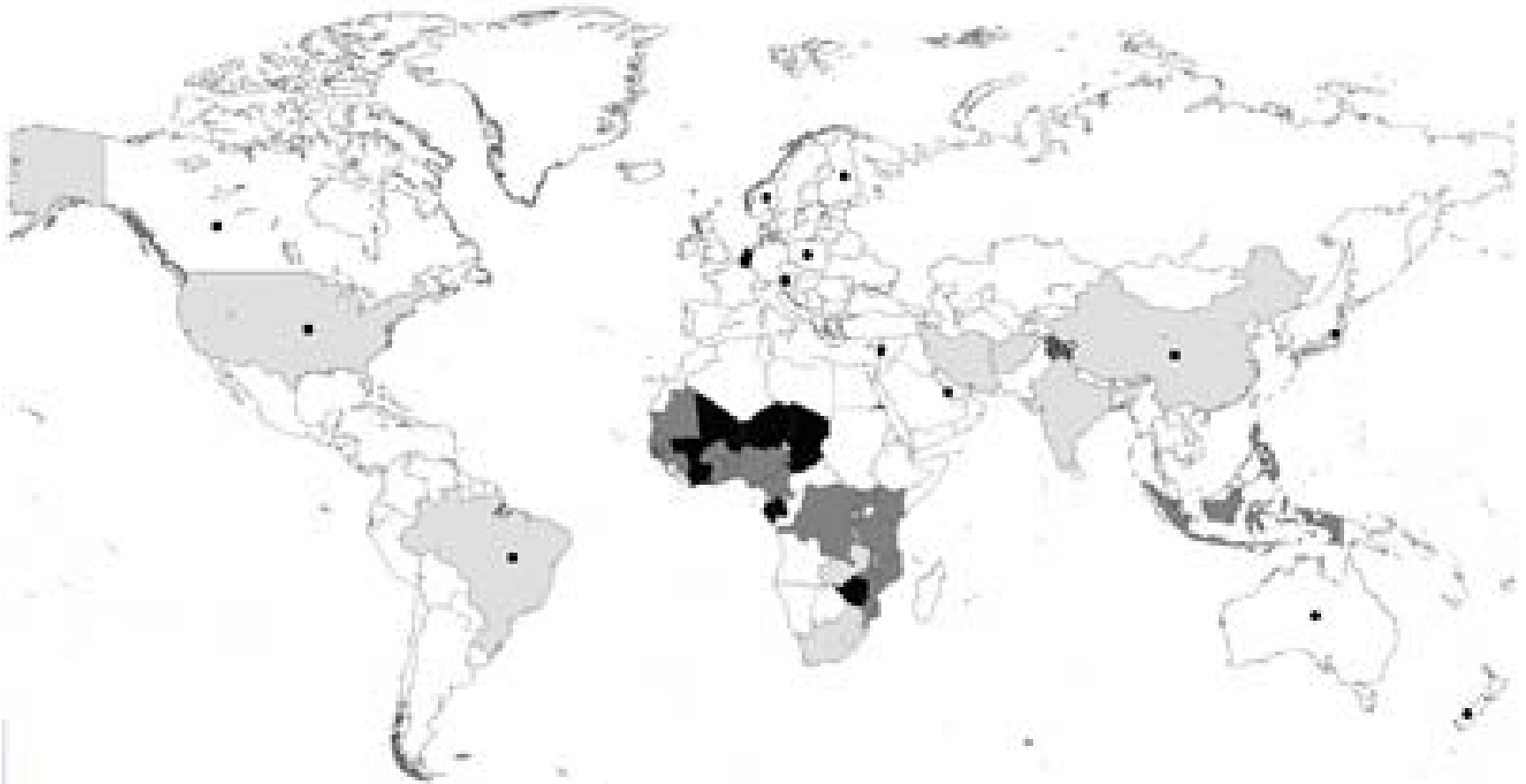
1993	Milwaukee, USA	Change in treatment plant operation resulted in Cryptosporidium in water	403,000 people ill 4,400 hospitalised 100 people died
2000	Walkerton, Canada	<i>E.coli</i> 0157H7 and <i>Campylobacter</i> in water due to operational errors	2,300 people ill 65 hospitalised 7 people died
2001	Belfast, Northern Ireland	9 potential sources of contamination comprised the supply; sewage backflow was considered the main cause.	191 cases of cryptosporidiosis, 41 hospitalisations.
2002	Northeast Italy	Broken sewer pipe in football field irrigation system allowed water from Bacchiglione River to enter city aqueduct.	670 reported gastrointestinal illness (GI). 32 cases were referred to hospital, 6/32 were admitted.
2002	Ski resort, Sweden	Unchlorinated groundwater (GW) source. Crack in sewage pipe located 10m from a well supplying system.	9/12 stool samples positive for NLV. Estimated 500 cases in the population.
2003	Divonne-les-Bains, Ain district, France	Cross-connection between STP effluent network and distribution system; chronic contamination of water source and inadequate treatment	786 suffered GI. Multiple enteropathogens identified, 2 people were hospitalised,
2007	Galway, Ireland	Contamination with cryptosporidium	60 people hospitalised
2007	Spencer, USA	Human error put lye in water	100 people medical attention at least 1 hospitalised

Microbiologische risico's in ontwikkelde landen

'Terrorisme' (nog niet microbiologisch)

year	location	Incident	public health effect
		Intentional threats and contamination incidents	
2002	Rome, Italy	Plot to break in through water pipes into American Embassy	no, offenders arrested
2003	China	Poisoning of water reservoir with pesticides	42 people hospitalised
2003	Prague, Czech Republic	Threat of poisoning with mercury and cyanide	no, blackmailer arrested
2004	Carpentersville, USA	Vandals spray fire extinguishers in filtration unit	no, filtration unit was not in use
2005	Lake Constance, Germany	10 litres of atrazin dropped near water intake	no, because of low solubility and low toxicity of atrazin
2006	Blackstone, USA	Vandals break into a water storage tank	no, drinking water ban proclaimed

Cholera in ontwikkelingslanden neemt weer toe!



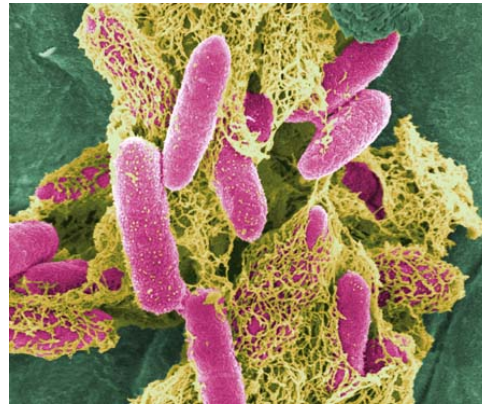
Wat zijn de risico's en waar komen ze vandaan



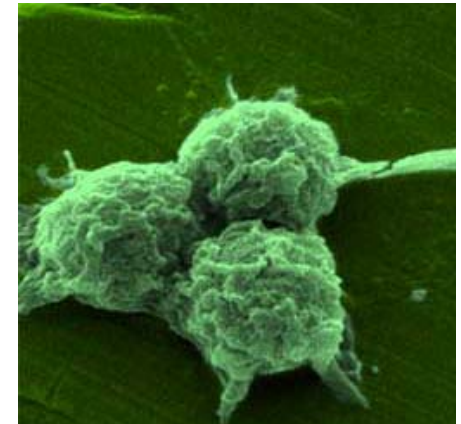
Virussen



Bacteriën



Protozoa



Overige microbiologische risico's: prionen, wormen, toxines ...

Oorsprong:

- Uit fecaliën van mens en dier (E. coli O157, norovirus, Cryptosporidium)
- Groeien in het milieu of in drinkwater (legionella)

Verontreinigingsbronnen oppervlaktewater



Wastewater



Recreation



Wildlife

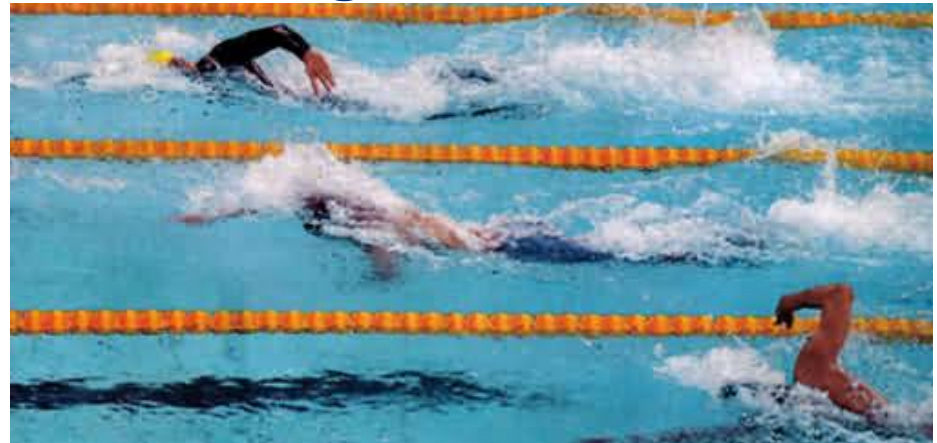
Wat zijn de gevolgen

- **Darmklachten, diaree, overgeven, misselijk...**
- **Ernstig bij gevoelige groepen (onderdrukt immuumsysteem)**
- **Soms ook ernstige effecten, bijvoorbeeld Guillain-Barré syndroom (verlamming door Campylobacter)**
- **Dood**



Hoe veilig moet drinkwater zijn?

- Géén indicatorbacteriën (E. coli) in 100 ml monster
- Kans op infectie $<1/10.000$ per jaar
- Hoe toon je aan dat het water veilig is?
- Analyse onmogelijk



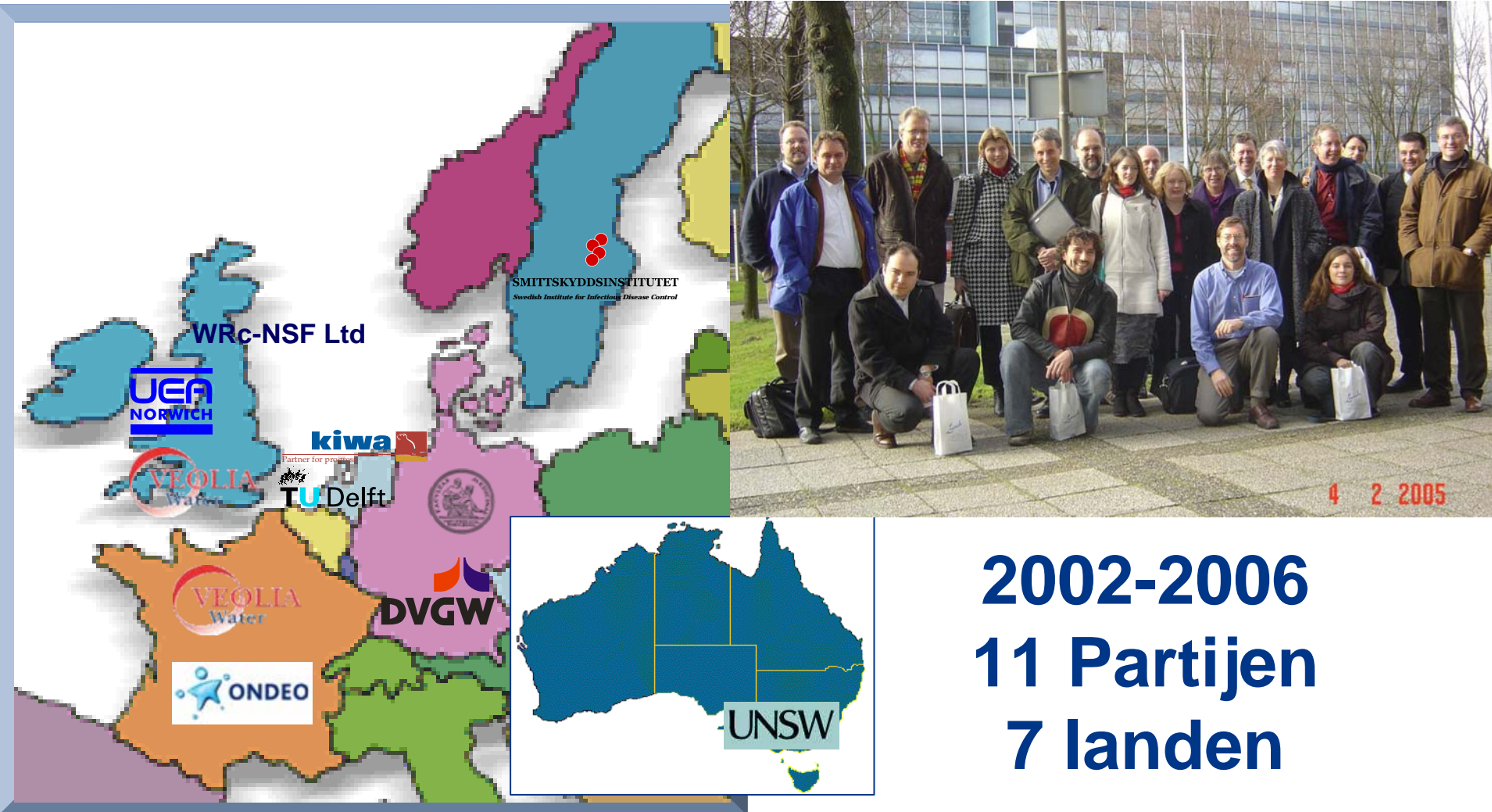
**Pathogens
in source**

**Removal by
treatment**

**Pathogens
in drinking
water**

**Risk of
infection**

Internationaal project over risico-analyse MicroRisk



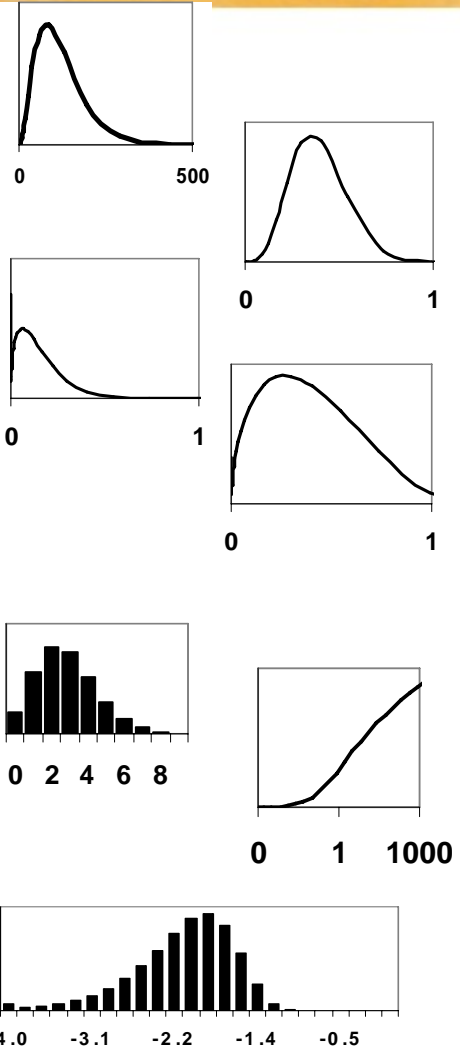
2002-2006
11 Partijen
7 landen

QMRA for drinking water

Quantitative Microbiological Risk Assessment

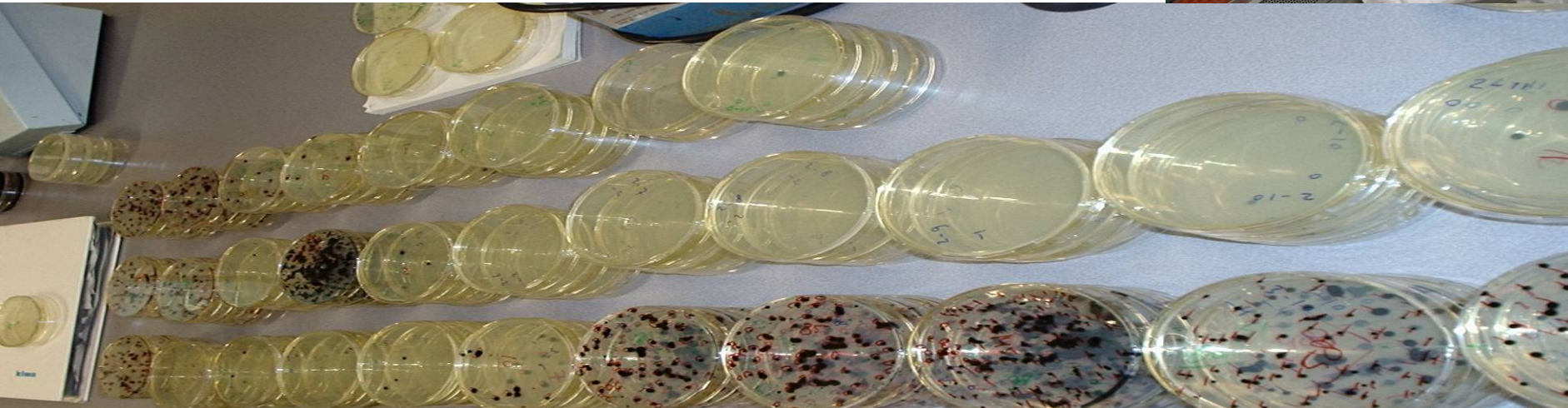


Source	Monitor	100 /L
Sedimentation	1 log	10 /L
Filtration	2 log	0.1 /L
Disinfection	2 log	0.001 /L
Distribution	No cont.	0.001 /L
Consumption	1 L	0.001 /d
Dose-Response	10%	*0.1
Risk of infection		0.0001 inf/d

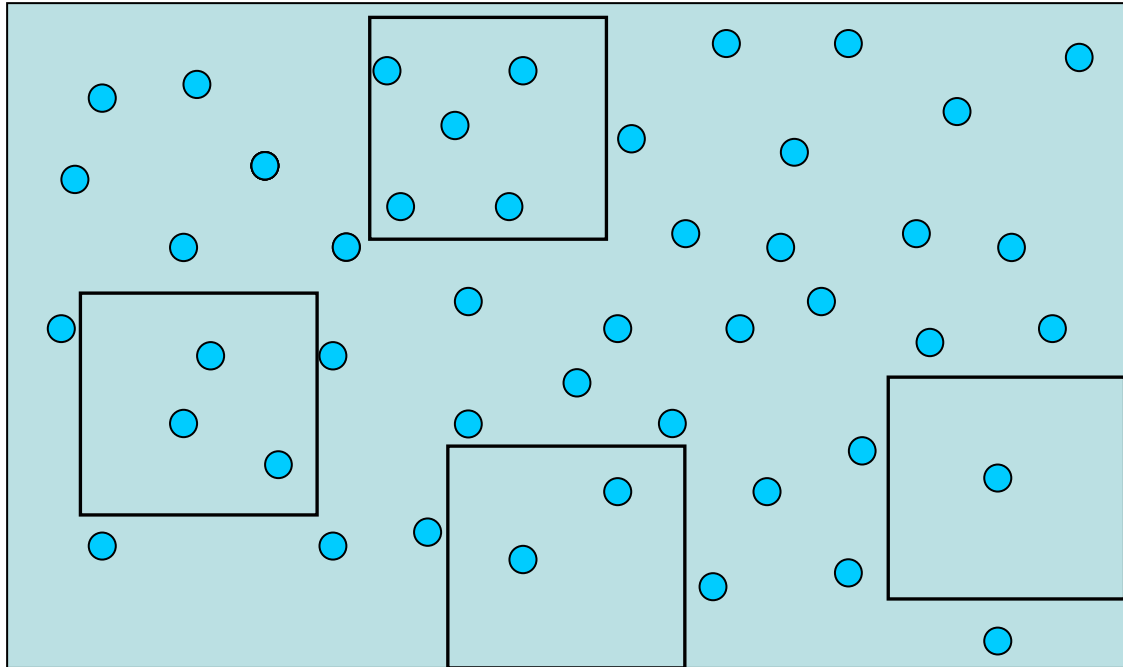


Meten in de bron

- **Véél verschillende pathogene micro-organismen**
- **Analysemethoden moeilijk en duur**
- **Onzekerheden:**
 - **Variatie: hoe hoog zijn piek concentraties?**
 - **Recovery: welk percentage toon je aan?**
 - **Type: is deze variant gevaarlijk voor de mens?**

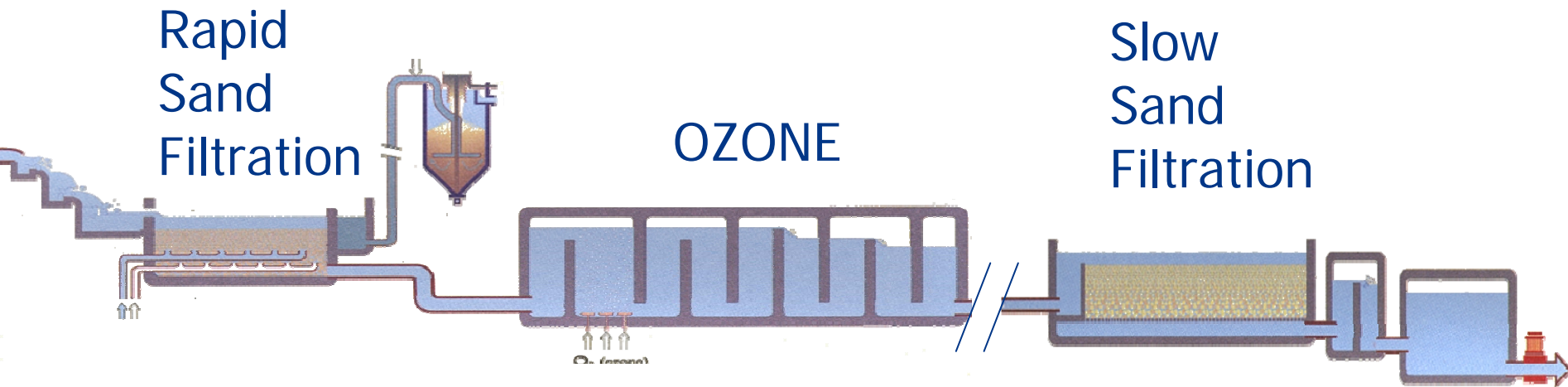


Hoeveel micro-organismen zitten in het monster?



Gemiddeld 3 organismen in een monstervolume
Waarneming varieert echter van 0 tot 7

Drinkwaterzuivering



Meervoudige barrières tegen micro-organismen

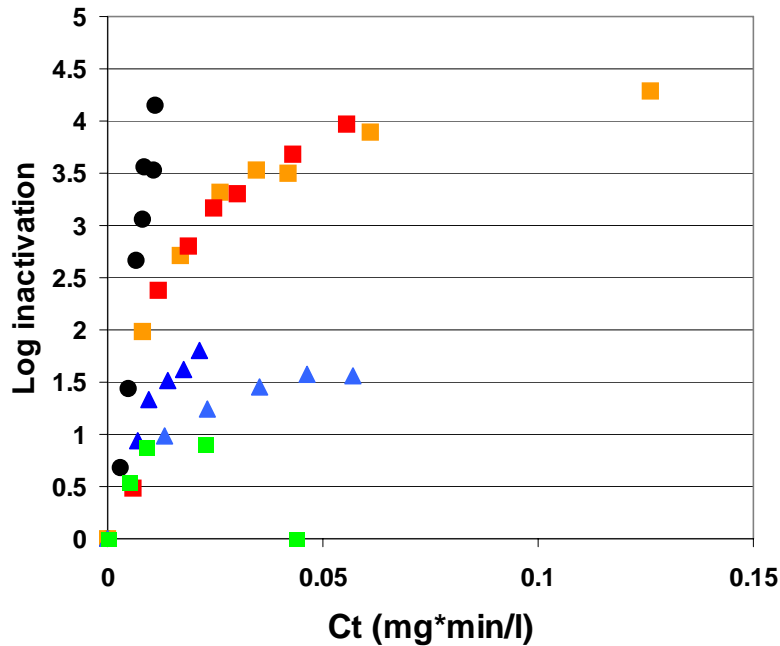
Verwijdering door de zuivering

Hoe kwantificeer je dat?

- Literatuuronderzoek
- Processen experimenteren
- Processen modelleren
- Metingen in de praktijk



Experimenteren Inactivatie door ozonisatie

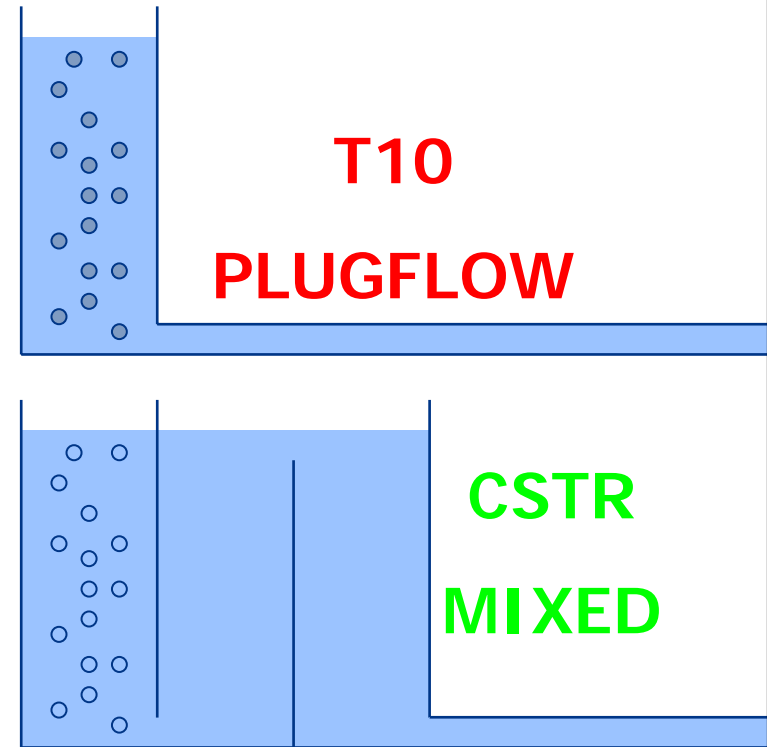
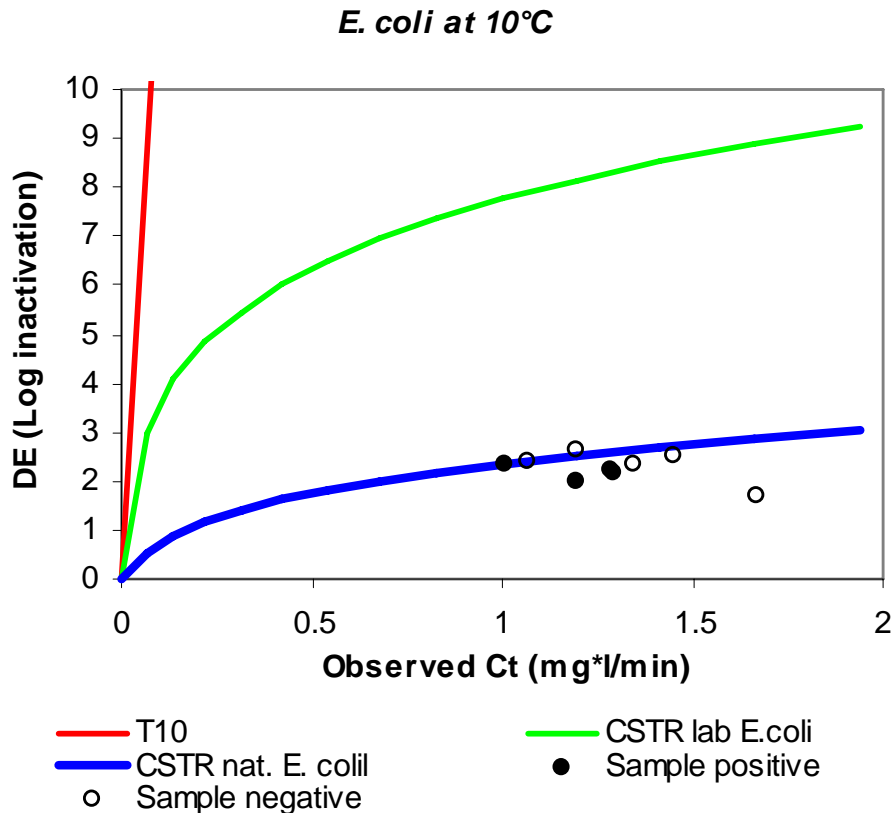


- Fresh cultured
- Stress. sterile water
- ▲ 6 months old
- ▲ 6 m. old + env. water
- Stress. environm. water
- Environmental



Modelleren

Model wel verifiëren met de werkelijkheid!



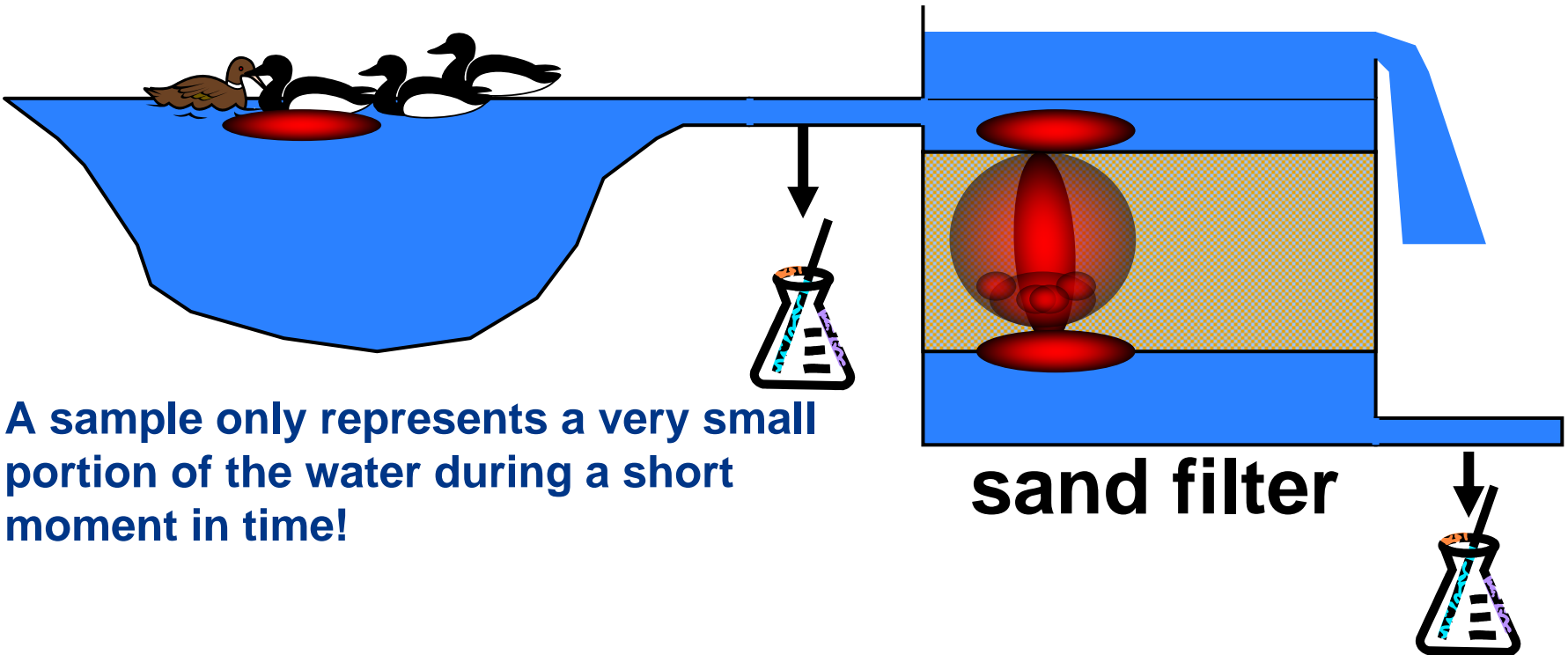
Verified at full-scale

Meten in de praktijk

Invloed van variaties en metingen



Treatment processes can retain and release organisms over time!

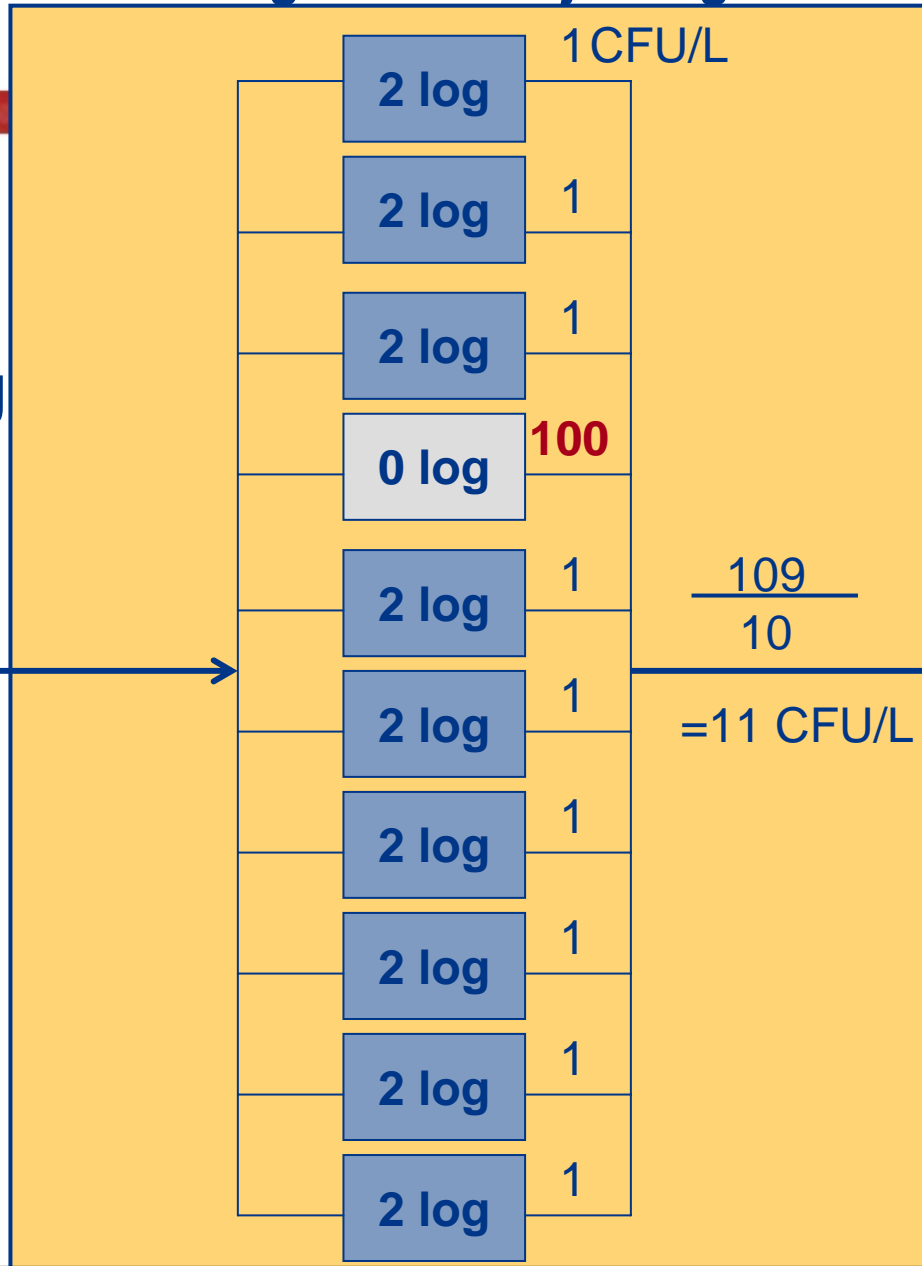


Denken in logeenheden

2 log=99%verwijdering

10 filters
Elk 2 log
verwijdering
1 faalt

100 CFU/L



concentratie
in filtraat:

A ≈ 100 CFU/L

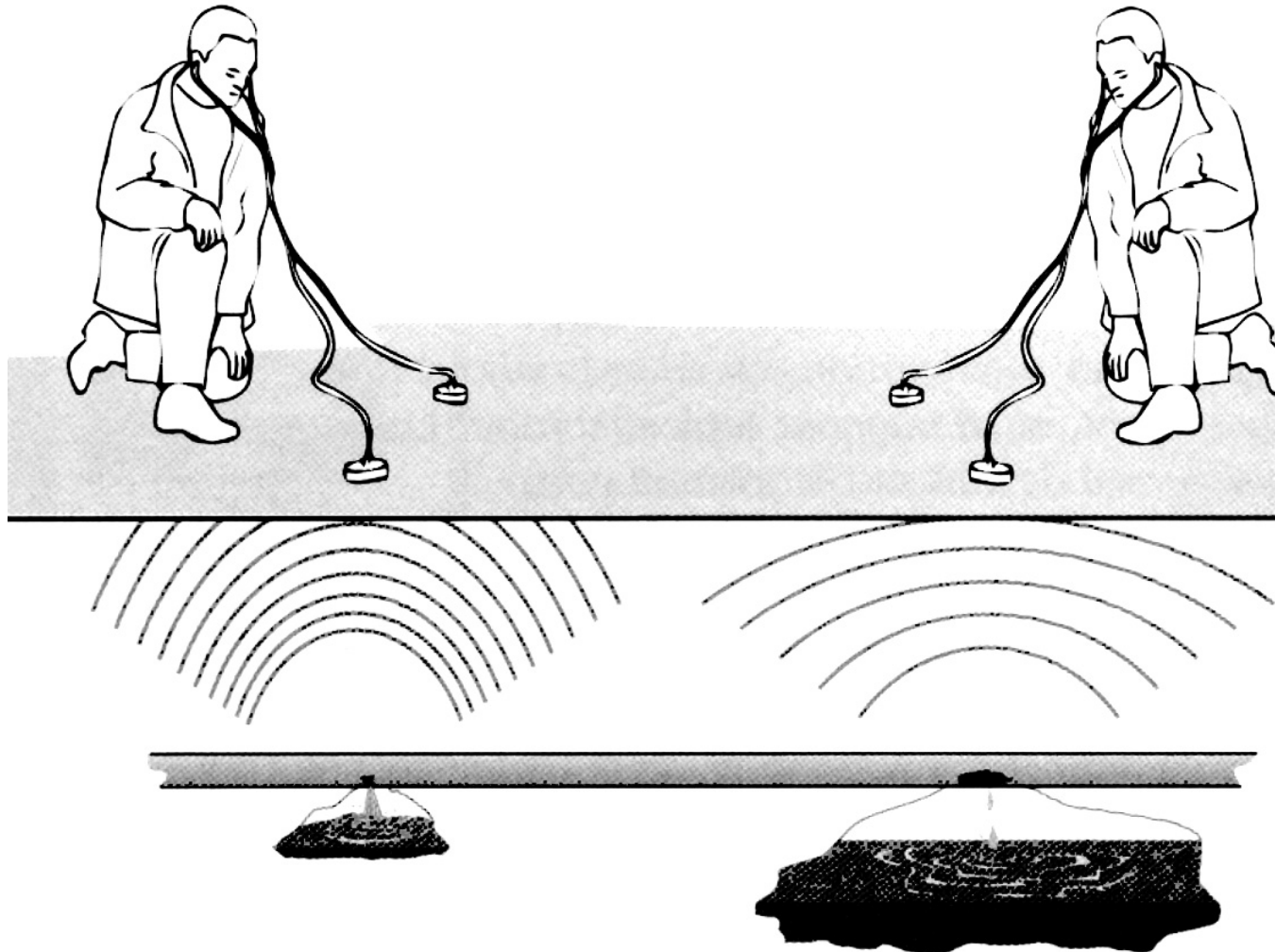
B ≈ 10 CFU/L

C ≈ 1 CFU/L

D ≈ 10⁻¹⁶ CFU/L

Lekkage bij distributie

E. coli in 0.1% van de monsters



Drinkwaterconsumptie

- Telefonisch interview ('recall')
- Dagboek

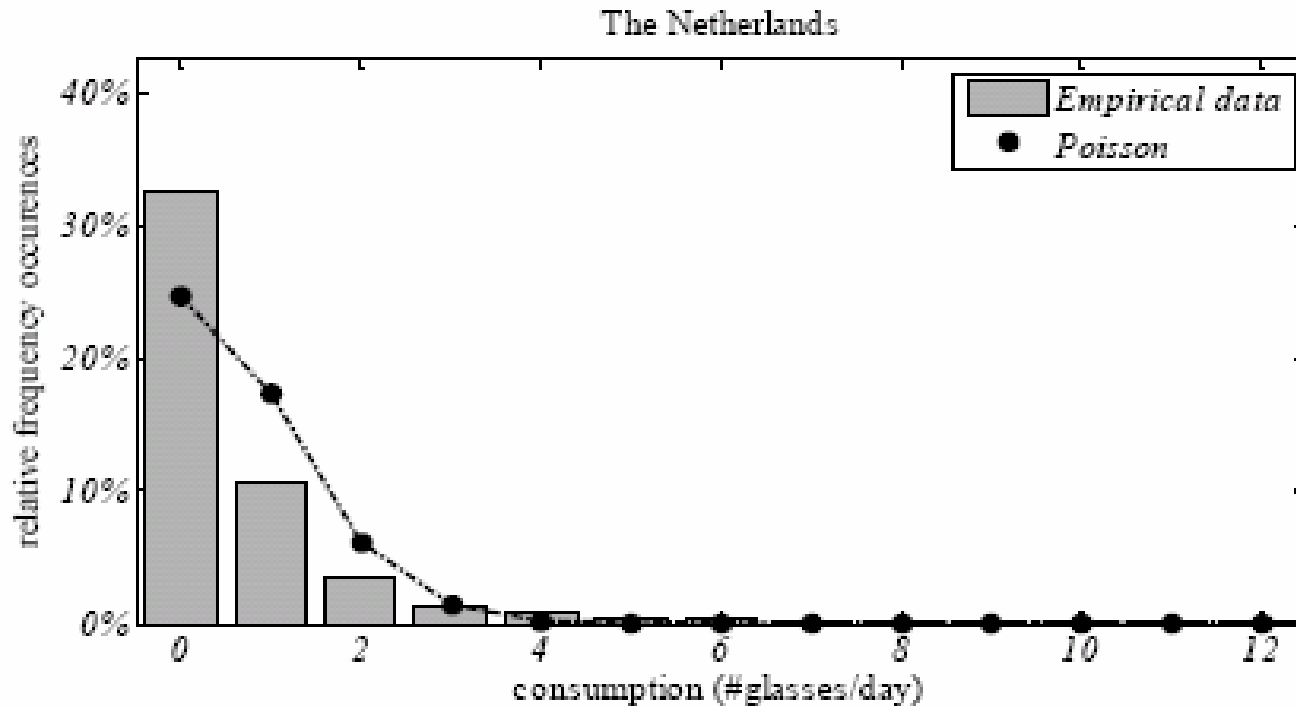
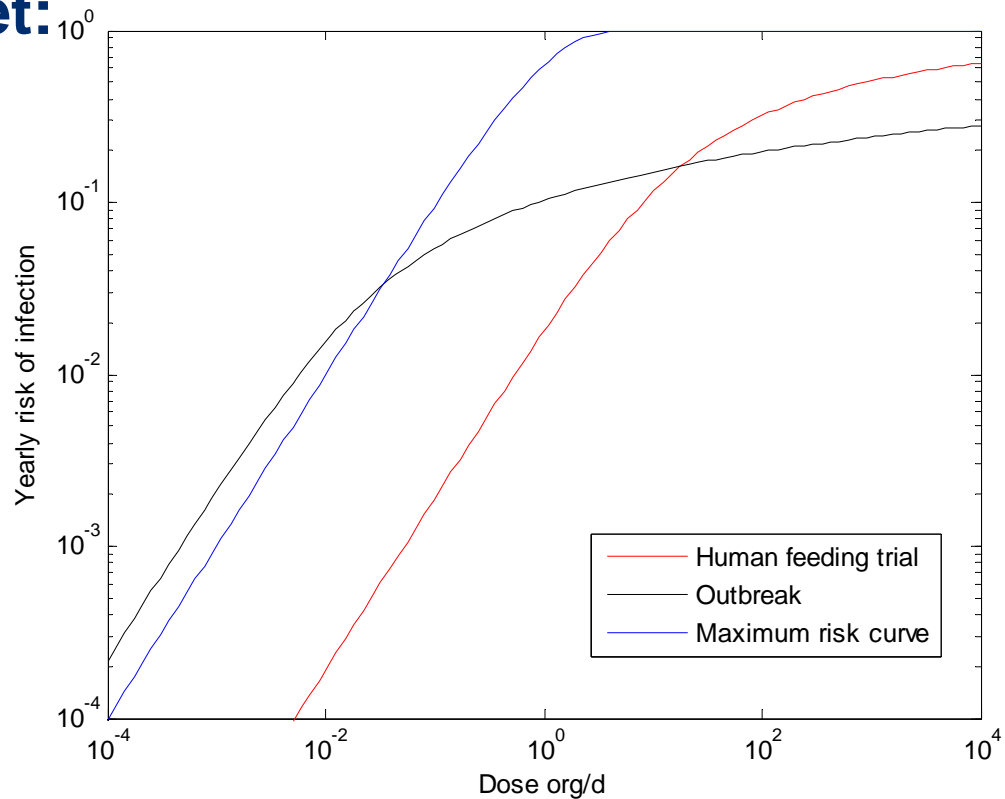


Figure 6.8. Statistical probability distributions for discrete tap water consumption

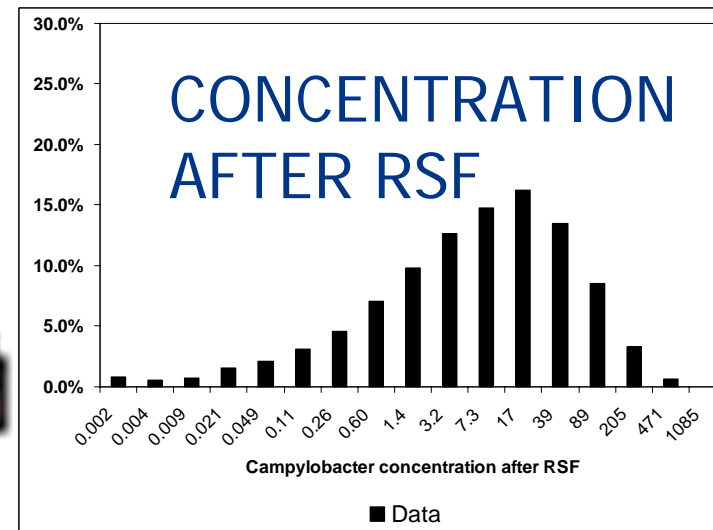
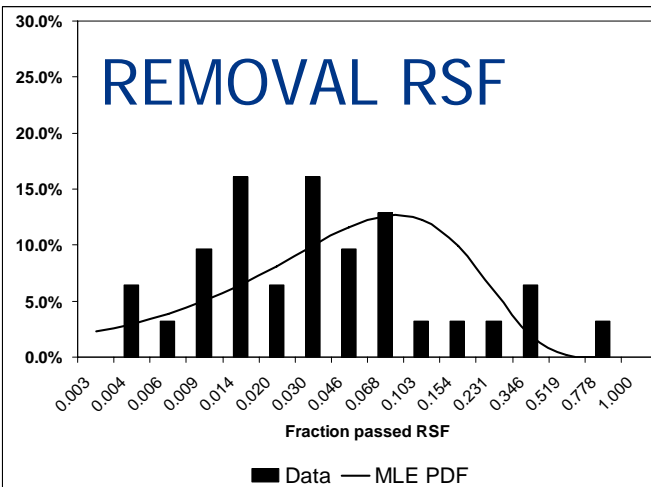
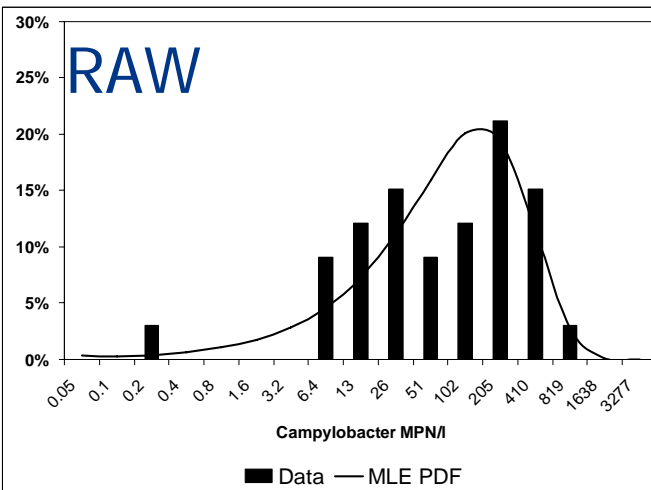
Kans op infectie

Dosis-respons

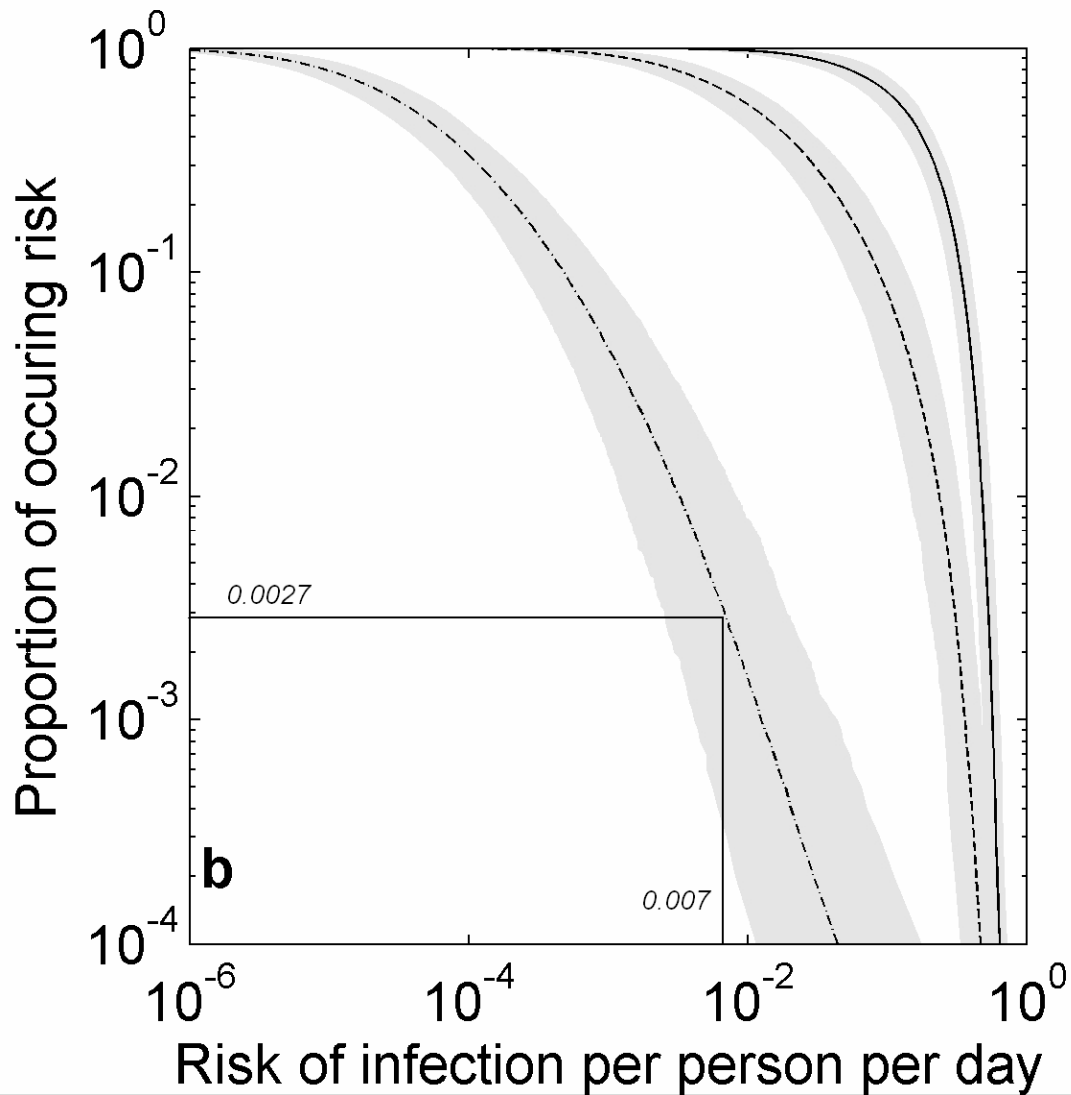
- Wat is de kans dat je een infectie ontwikkelt wanneer je één of meer micro-organismen binnen krijgt?
- Relatie vaststellen met:
 - Vrijwilligers (studenten)
 - Uitbraken
- Maximum=100%



Monte Carlo analyse



Resultaat: FN-curve



Ruwwater
Na filtratie
Na ozonisatie

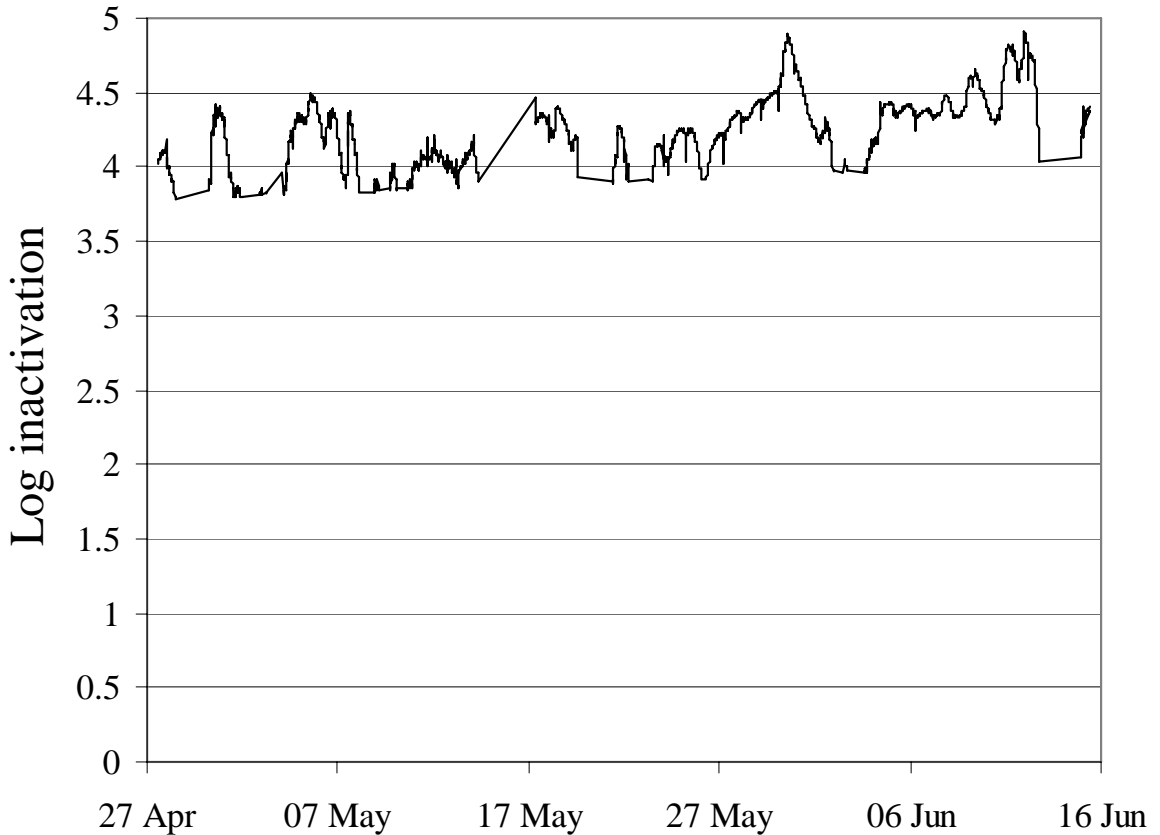
Wat doe je met het resultaat?

- **Zuiveringsstappen toevoegen?**
- **Bedrijfsvoering veranderen**
 - Meer ozon of chloor doseren
 - Sturing verbeteren
 - Filtratieprocessen optimaliseren
 -
- **Meer meten?**
- **Huidige situatie handhaven en borgen**

Proces en/of bedrijfsvoering verbeteren

Voorbeeld chloordesinfectie

- Total reduction
- Current 2.1
- Double dose 2.3
- No events 2.5
- Hydraulics 2.6
- Hydr.+events 4.0

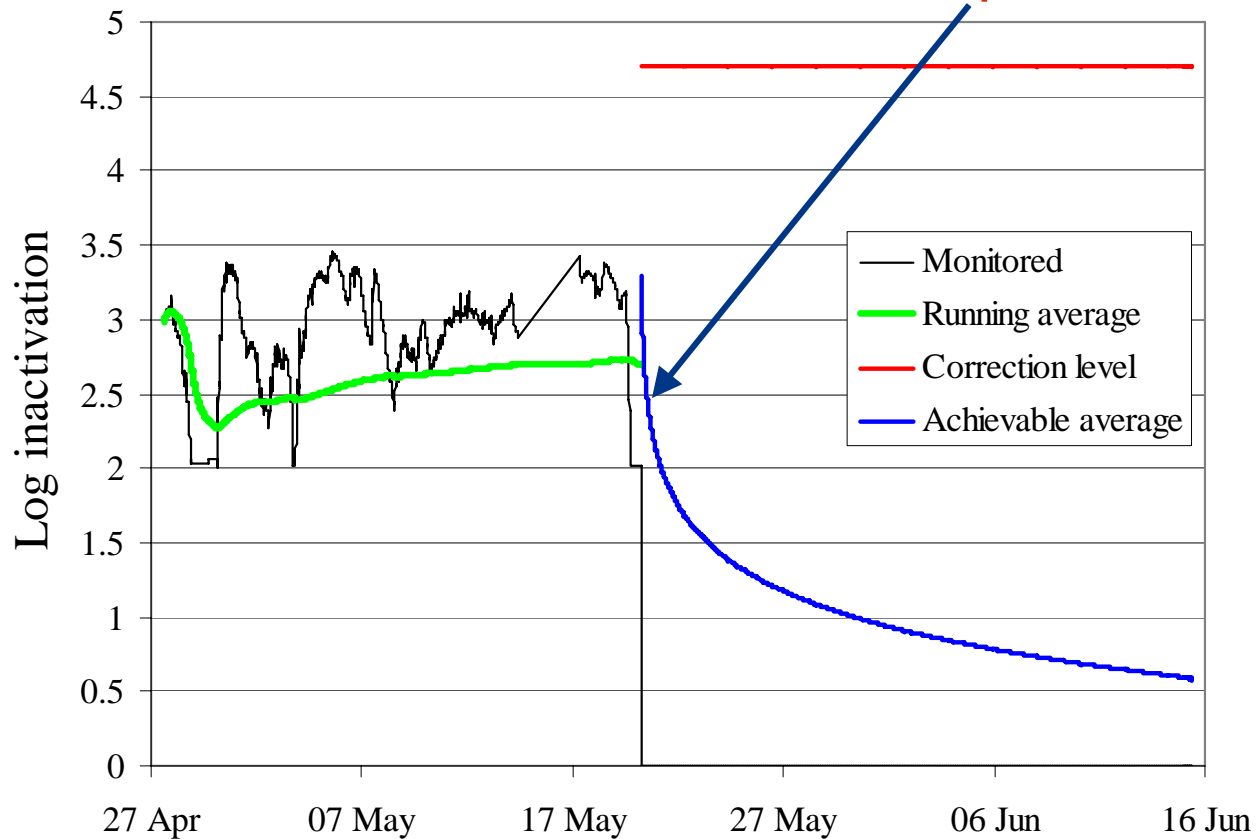


Goal: 2.5 log to meet health target

Procesbewaking is essentieel!



6.5 Hours response time



Goal: achieve 2.5 log average inactivation over period



Procesbewaking: hoe vaak moet je meten?

Risk from event < nominal risk (95% certainty)

nominal
log reduction

Interval / year

1

1 week

2

1 day

3

3 hours

4

15 min

5

2 min

Verschillende landen, verschillende prioriteiten

- **Westers ontwikkeld: verwaarloosbaar risico, hoe verifieer je dat?**
- **Beperkt ontwikkeld: hoe zorg je voor constante goede bedrijfsvoering?**
- **Primitief: hoe maak je mensen bewust van risico's (latrines boven visvijver)**



Source: F. Wieneke