

Innovationspartnerskab
for teknisk vand
NIRAS / Miljøstyrelsen

Workshop: Hvordan sættes de rette kvalitetskrav ved brug af teknisk vand fra alternative vandkilder?
Wood Hub, Lerchesgade 35, Odense, 23. september 2026

Vandkvalitet i teknisk vand

Hans-Jørgen Albrechtsen
Professor, DTU Sustain, Inst. Miljø- og Ressourceteknologi

23. September 2026 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain H.J. Albrechtsen 1

1

Baggrund for hana Teknisk Vand

2026-2021-2024	Water2050 , IFD, Total project budget: 8 mDKK Flow Loop retrofit energy-saving shower system . EUDP Industrial PhD, IFD
2016	Nye, sekundærvand Aarhus
2014-2019	DRIP , Water efficient industrial food production. Danish innovation Fund. Total project budget: 50 mDKK
2014-2016	Saltskyl , Ecoinnovation, the Danish Ministry of the Environment. Total project budget: 2.7 mDKK
2014-2015	Water efficient dairies - partnership towards the waterless dairy Ecoinnovation, the Danish Ministry of the Environment. Total project budget: 8.2 mDKK
2011	Environmental assessment of use of secondary water for selected purposes . Municipality of Copenhagen and Københavns Energi A/S. Department share: 46 kDKK.
1997	Water consumption in residences. Rain as a water resource in households Danish Environmental Protection Agency and Ministry of Housing. Department share: 300 kDKK.

23. September 2026 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain H.J. Albrechtsen

2

VEJ nr 9700 af 24/07/2025 (Gældende)

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri,
Fødevarestyrelsen

Vejledning om fødevarerhygiejne

- 10. Vand i fødearevirksomheder
- Fødearevirksomheder skal bruge vand af drikkevandskvalitet. Der er dog nogle undtagelser, hvor virksomheden kan nøjes med at bruge rent vand. Virksomheden skal vurdere en række forhold for at sikre, at vandet har en tilstrækkeligt god kvalitet til brug i fødevarer og i fødeareproduktionen. F.eks. om der er problemer med forurenet drikkevand fra vandværket eller fra egen boring, eller problemer med ledningssystemet inde på virksomheden.
- 10.1 Vand af drikkevandskvalitet
- Vand, der bruges på fødearevirksomheder, skal som udgangspunkt være drikkevand, og der skal være adgang til tilstrækkelige mængder drikkevand i virksomheden. Fiskefartøjer kan i visse tilfælde nøjes med at bruge rent vand. Se afsnit 10.6 Rent vand (hav- eller ferskvand) og afsnit 59. Vand og is på fiskeområdet.

23. September 2026 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain H.J. Albrechtsen

3

VEJ nr 9700 af 24/07/2025 (Gældende)

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri,
Fødevarestyrelsen

Vejledning om fødevarerhygiejne

- 10. Vand i fødearevirksomheder
- Fødearevirksomheder skal bruge vand af drikkevandskvalitet. **Der er dog nogle undtagelser, hvor virksomheden kan nøjes med at bruge rent vand.** Virksomheden skal vurdere en række forhold for at sikre, at vandet har en tilstrækkeligt god kvalitet til brug i fødevarer og i fødeareproduktionen. F.eks. om der er problemer med forurenet drikkevand fra vandværket eller fra egen boring, eller problemer med ledningssystemet inde på virksomheden.
- 10.1 Vand af drikkevandskvalitet
- Vand, der bruges på fødearevirksomheder, skal som udgangspunkt være drikkevand, og der skal være adgang til tilstrækkelige mængder drikkevand i virksomheden. Fiskefartøjer kan i visse tilfælde nøjes med at bruge rent vand. Se afsnit 10.6 Rent vand (hav- eller ferskvand) og afsnit 59. Vand og is på fiskeområdet.

23. September 2026 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain H.J. Albrechtsen

4

- **10.6 Rent vand (hav- eller ferskvand)**
- **Rent vand** defineres som **vand, der ikke kan skade sundhedskvaliteten af fødevarer.**
- Rent vand må derfor ikke indeholde mikroorganismer, skadelige stoffer eller toksisk marint plankton i skadelige mængder.
- Der er særlige regler for brug af vand og is i virksomheder, der håndterer fiskevarer og muslinger m.m. Se afsnit 59. Vand og is på fiskemarkedet og afsnit 72. Muslinger m.m.
- Ved brug af rent havvand eller rent fersk- eller brakvand skal virksomheden sikre, at vandet ikke hentes fra et kontamineret område. Havvand bør hentes i god afstand fra kysten og fra indsejlinger til havne og marinaer.
- Levende fisk bør ikke opbevares i havnebassiner, marinaer, tæt på spildevandsudløb og tæt på andre steder, hvor der kan være risiko for kemiske eller mikrobiologiske kontamineringer fra f.eks. bundmaling på fartøjer og udtømte spildevandsbeholdere. Hvis virksomheden vil have fisk i tryttefad i havnebassin eller i vand fra havnen, skal virksomheden forholde sig til risikoen for, at vandet potentielt kan skade den færdige fødevarer.
- Fartøjer skal sikre, at vandintag til rent vand placeres, så man undgår forurening af vandforsyningen.
- Hygiejneforordningen, artikel 2, stk. 1, litra h) og i)

5

- **10.3 Genbrug eller recirkulering af vand**
- Vand, der genbruges til forarbejdning eller som ingrediens, skal som udgangspunkt være af samme kvalitet som drikkevand. Vand, der genbruges til andre formål end forarbejdning, f.eks. til rengøring, skal som udgangspunkt også være af **drikkevandskvalitet**. Hvis en virksomhed ønsker at genanvende vand, skal den kunne redegøre for genanvendelsessystemet og **dokumentere, at vandets kvalitet ikke kan påvirke fødevarssikkerheden**. Se også afsnit 10.7 **Behandling af vand**.
- Virksomheden skal foretage en **risikoen analyse** for de processer, hvor der genbruges eller recirkuleres vand, og skal kunne dokumentere vandets kvalitet med analyser af relevante parametre.
- Drikkevandsbekendtgørelsens parametre kan danne grundlag for vurdering af vandets kvalitet. Der er imidlertid et is risiko for, at genanvendt vand eller recirkuleret vand indeholder forurenninger fra andre stoffer end dem, der er kvalitetskrav for i drikkevandsbekendtgørelsen. Undersøgelsen af vandets kvalitet skal derfor indeholde de kemiske eller mikrobiologiske analyser, som vurderes relevante i den konkrete situation.
- Hvis virksomheden ønsker at recirkulere eller genanvende vand, der ikke er af drikkevandskvalitet, og kan dokumentere, at vandet ikke udgør en risiko for kontaminering af fødevarerne, kan virksomheden søge om tilladelse til at bruge vandet. Ansøgningen skal sendes til Fødevarestyrelsen med dokumentation for vandets kvalitet, procedurer for anvendelsen og egenkontrolprogram med eventuel analytisk kontrol og styringsparametre. Fødevarestyrelsen kan tillade brug af recirkuleret eller genanvendt vand, som ikke har drikkevandskvalitet, hvis det ikke giver sundhedsmæssige problemer.

6



Rasmussen, J. Sørensen, K., Albrechtsen, H-J, Hansen, L.T. (2022). DRIP Completion Report. Water efficient industrial food production. 60 p. Public report. DRIP.

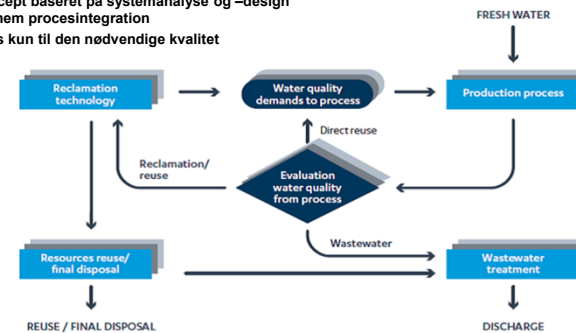
[DRIP Completion Report - DTU Findit](#)

7

Water-fit-for-purpose



- Koncept baseret på systemanalyse og –design gennem procesintegration
- Rens kun til den nødvendige kvalitet



Source: DHI

8

Systematisk arbejde med water-fit-for-purpose koncepter:

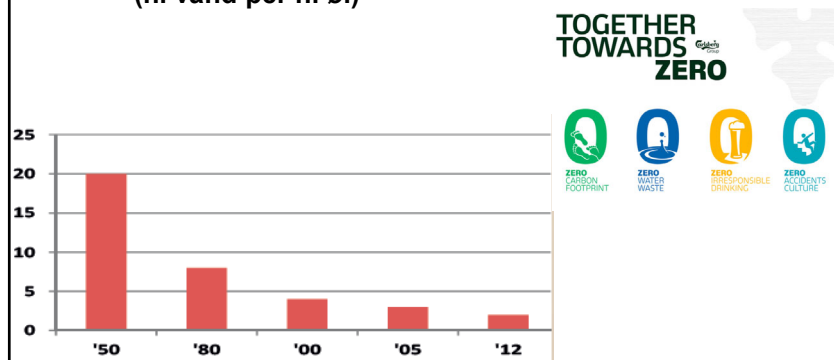
er at kunne besvare følgende spørgsmål:

- Hvilke vandkvaliteter er allerede til rådighed?
- Hvilke vandkvalitetskrav har vi i de forskellige processer?
- Hvordan kan vi producere og vedligeholde disse kvaliteter?
- Hvordan kan vi monitere og styre disse vandkvaliteter?
- Hvad er effekten af at bruge vand af en anden kvalitet?
- Er der ikke-tekniske begrænsninger for graden af vandeffektivitet?

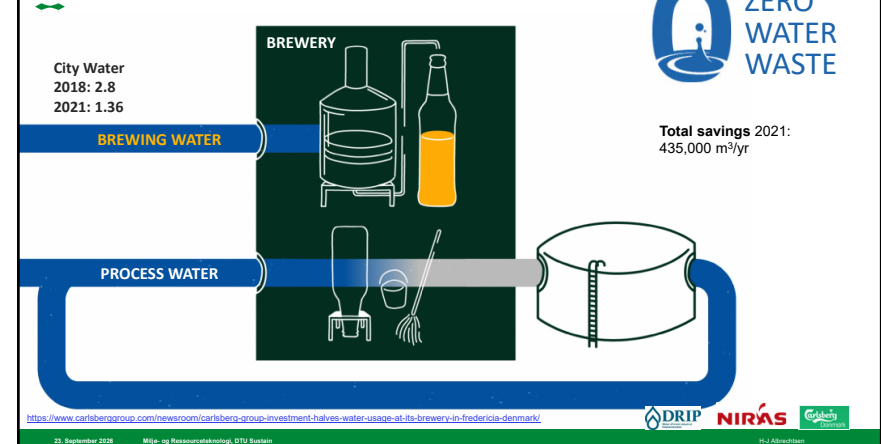
Alternativ: "Water-fit-for-any purpose"

- Central rensning og distribution af alt (spilde)vand til opnåelse af højeste vandkvalitet under hensyntagen til teknologi, økonomi og miljø

Vandforbrug på danske bryggerier (hl vand per hl øl)



Carlsberg - Water Recovery Plant





13



14



Strategi i analysen – Carlsberg

Kildebaseret risiko-vurdering

- Udgangspunkt i kilden
- Kræver fuldstændig massebalance for produktionen
- Lister, mængder, koncentrationer

23. September 2026
Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain
H.-J. Albrechtsen

15



Oprindelse af vandtyper til genanvendelse, samt andel af totale volumen

Hedegaard, M.J., Enhörning, K.,
Pedersen, S., Yangell, Q., Victor, A.
& Albrechtsen, H.-J. (2018) DRIP:
Identification and overcoming
barriers for water reclamation and
reuse in Carlsberg Fredericia. 14 p.,
Kgs. Lyngby, Denmark: Technical
University of Denmark.

23. September 2026
Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain
XXXX
H.-J. Albrechtsen

16

Vand til genbrug fordelt på processer

17

Identifikation af stoffer i spildevandsstrømme og problemvurdering ved rensning og genanvendelse i processer med produktkontakt

Strategi:

1. Identifikation af stoffernes bidrag til spildevand (vandstrømme) samt forureningsgraden af disse vandstrømme
2. Identifikation af stoffer i spildevandet
 - med særligt fokus på stoffer med potentiel høj koncentration i re-used water
3. Undersøgelse om nogle af de identificerede stoffer kan passere vandbehandlingssystemet – især RO-membraner
 - 3b undersøge om nogle af disse stoffer også kan passere biologisk behandling
4. Scenarier/estimeringer af koncentration af problematiske stoffer efter vandbehandling
5. Vurdering af om disse stoffer i de givne koncentrationer kan udgøre en potentiel risiko i fbm. kontakt og/eller påvirke efterfølgende processer

18

Identifikation af forureningsstoffer i vand til genanvendelse

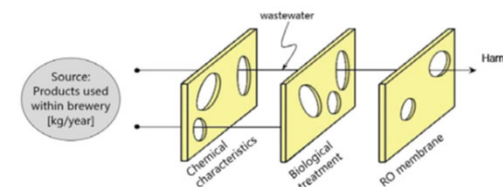
Produkter

- Tilsætningsstoffer
- Gær
- Enzymer
- Zinksulfat

Rengøringsmidler, smøremidler og biocider

19

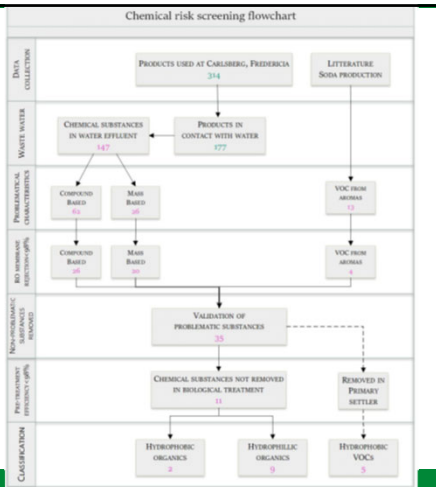
Reasons Swish Cheese model with input from the investigation



(modified from Lindhe 2010)

20

Konceptuelt flowchart af screeningproces af stoffer, der kan forekomme i reused water



21

Risikovurdering

- 147 stoffer identificeret (spildevandskvalitet også inddraget, verificering)

De faldt i 3 grupper

1. Stoffer som forekom i store mængder (incl. rengøringsstoffer, biocides etc.)
2. Stoffer med problematiske fysiske eller kemiske egenskaber
3. Flygtige stoffer fra sodavandsproduktion (baseret på literature)

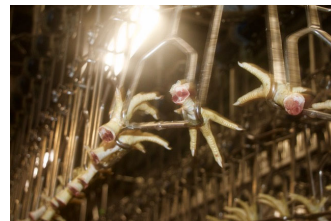
Resultat: Focus på 16 stoffer, dårlig fjernelse i biologisk behandling og RO-membran, jf. modelleringen, pga.

- fysiske/kemiske egenskaber
- store mængde/concentration/anvendelse
- Risikovurdering udpegede 3 stoffer

22

Genanvendelse af vand til formål med lavere krav: Kaskade-anvendelse: Rensning af kyllingefødder

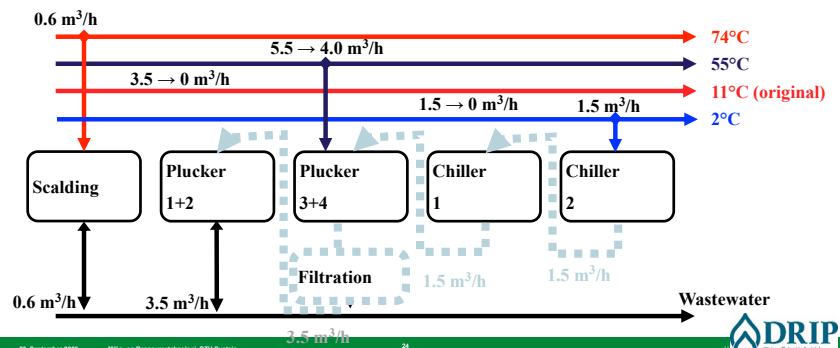
- HKScan kyllingefødder, Vinderup, DK
- Vende strømmen af rens vand mod strømmen i sektionen med kyllingefødder-rengøring
- Risikovurdering ifht. fødevarer sikkerhed
- Vandbesparelse ca. 100 m³/dag
 - 50 % af vandforbrug i dette process-trin
 - 6-7 % af slagteriets totale vandforbrug
 - Energi (varme) besparelser



HKSCAN

23

Kyllingefødder process-linje - Water Reuse Upcycling af vand fra nedstrømsprocesser til opstrøms, mere beskudte processer



24

Baggrund

- Bydelen Nye v. Aarhus
- Central behandling og levering af sekundavand (regn og drænvand)



Tang, C. & Albrechtsen, H.-J. (2010) Vandkvalitetskrav for anvendelser af opsamlet regnvand i tøjvask, toilet skyl og brandslukning. Centralt sekundærvandslæg i bydelen Nye, Aarhus (baggrundnotat). Kgs. Lyngby: DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet. [Vandkvalitetskrav for anvendelser af opsamlet regnvand i tøjvask, toilet skyl og brandslukning. Centralt sekundærvandslæg i bydelen Nye, Aarhus \(baggrundnotat\) - Welcome to DTU Research Database](#)

23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.-J. Albrechtsen

25

Strategi i analysen – Nye Anvendelsesbaseret risiko-vurdering

- Udgangspunkt i anvendelsen – hvad skal vandet 'kunne'?
- Problem-drevet

23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.-J. Albrechtsen

26

Vandkvalitet af regnvand?

- Bidrag fra atmosfæren
- Bidrag fra opsamlingsoverflader
 - Tage
 - Malede overflader
 - Cement
 - Befæstede arealer (asfalt)
 - Stier



- Zink
- Kobber
- Tagpap
- Støv fra bilers bremses
- Bløde
- Fækaler fra dyr
- Oliespild
- Bekæmpelsesmidler
- Vejsalt

23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.-J. Albrechtsen

27

Vandkvalitet af regnvand?

Litteraturstudie - målinger

• Relevante måleparametre	520
• Tungmetaller og overgangsmetaller	68
• Miljøfremmede organiske forbindelser	311
• Fysiske	33
• Kemiske	86
• Mikrobielle	22

- Er det operationelt?

Ledin, A., Auffarth, K. P. S., Boe-Hansen, R., Eriksson, E., Albrechtsen, H.-J., Baun, A., & Nikkelsen, P. S. (2004). Brug af regnvand opsamlet fra tage og befæstede arealer – Udpegning af relevante måleparametre, Miljøstyrelsen. (Økologisk Byfornyelse og spildevandsrensning, nr. 48).



23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

28

Opsamlet regnvand: Problemer og måleparametre

	Problem	Måleparametre
Tekniskeløstetiske	Udfældning a) Neutral pH b) Høj pH (vaskemaskine)	Metaller, pH, alkalinitet, sulfat
	Korrosion	Calcium, carbonat, klorid, sulfat
	Lugtgener	Ilt, sulfid
	Skumdannelse	Skumhøjde
	Farvning af tøj og toiletkummen	Metaller, humus- og fulvussyre
	Blegning af tøj	Kraftigt oxiderende stoffer, f.eks. H ₂ O ₂
Sundheds- massige	Dosering af vaskemiddel	Vandets hårdhed, calcium og magnesium
	Infektionssygdomme	Patogene mikroorganismer (Indikatororganismer)
	Allergi Cancer Mutagene forandringer Reproduktionstoksiske stoffer	Miljøfremmede organiske forbindelser og metaller

(Ledin et al., 2004)

23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.J. Abrahamsen

29

Vandkvalitet uden problematisk korrosion
(afh. anvendelsesområde og udskiftelighed)

Rørmateriale	Vandkvalitet
SG-jern	pH > 6,5
Asfalterede, cementerede	aggressiv carbondioxid < 2 mg/L
Varmforsinket stål	100 mg/L < HCO ₃ ⁻ < 300 mg/L Ca ²⁺ > 20 mg/L pH > 7,0 $\frac{Cl^{-} + 2SO_4^{2-}}{HCO_3^{-}} < 1$ (målt i mmol/L)
Kobber	7,5 < pH < 9,0
Rustfrit stål	Cl ⁻ < 150 mg/L ¹
PVC, PEL, PEH, PEM	
PEX	

Dansk Standard, 2009

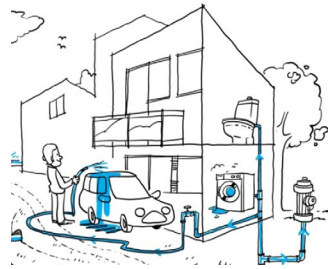
23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.J. Abrahamsen

30

Hvad skal vandet bruges til?

- Toiletskyl
- Tøjvask
- Brandbekæmpelse
- Opbevaring og transport (biostabilitet)
- Water-fit-for-purpose filosofi
- International lovgivning og erfaring
 - Evt. konkret risikovurdering
- Ikke strengere end Drikkevandsbek.



23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.J. Abrahamsen

31

Regnvand til toiletskyl

Overførsel	Problem	Problemtype
Indånding	Infektionssygdomme Allergi	Sundhed Sundhed
Hudkontakt	Infektionssygdomme Allergi	Sundhed Sundhed
Andet	Udfældning Farve i toiletkummen Lugtgener Skumdannelse	Teknisk Æstetisk Æstetisk Æstetisk

- Ikke opvarmning
- Opbevaring (cisterne, toiletkumme)
- Aerosoler
- Hudkontakt fx v. rengøring



Tipset fra Eriksson (2002)

23. September 2025 Miljø- og Ressourceteknologi, DTU Sustain

H.J. Abrahamsen

32

Regnvand til tøjvask i vaskemaskine

Overførsel	Problem	Problemtype
Hudkontakt	Infektionssygdomme	Sundhed
	Allergi	Sundhed
	Cancer	Sundhed
	Mutagenicitet	Sundhed
	Reproduktionstoksicitet	Sundhed
Andet	Udfældning	Teknisk
	Korrosion	Teknisk
	Blegning af tøj	Æstetisk
	Farvning af tøj	Æstetisk
	Lugtgener	Æstetisk
	Dosering af detergenter	Teknisk

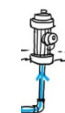
- Forhøjet pH (vaskepulver)
 - Forhøjet temperatur (ikke desinfektion)
 - Hudkontakt - indirekte via tøj
- Tilpasset fra Eriksson (2002)



Regnvand til brandbekæmpelse

- Risiko ved indånding og hudkontakt (sundhedsrisiko)
- Biostabilitet (sundhedsrisiko)
- Korrosion (teknisk problem)

- Opbevaring



	Parameter	Problem	Eksempler på kilder	Toiletskyl	Tøjvask	Brandbekæmpelse	Reference(r)
Basisparametre	Temperatur	Bakterievækst	-	18 °C	18 °C	18 °C	Rørcentret (2012)
	pH	Korrosion	Atmosfæren Overflader (cement)	7,5-9	7,5-9	7,5-9	Dansk Standard (2009)
	Turbiditet	Bakterievækst Misfarvning	Partikler	2 NTU	2 NTU	2 NTU	Philp et al. (2008) US EPA (2012)
	Oxygen	Lugt (Bakterievækst)	-	> 0,5 mg/L ¹	> 0,5 mg/L ¹	-	Salgot et al. (2006)
	NVOC	Misfarvning, bakterievækst	Organisk materiale	4 mg/L	4 mg/L	4 mg/L	Drikkevandsbekendtgørelsen (2016)
	Aggressiv CO ₂	Korrosion	-	2 mg/L	2 mg/L	2 mg/L	Dansk Standard (2009)
	Jern	Udfældning og misfarvning	-	0,3 mg/L	0,3 mg/L	-	US EPA (2012) WHO (2006)
Metaller og ioner	Mangan	Udfældning og misfarvning	-	-	0,05 mg/L	-	US EPA (2012) WHO (2006)
	Aluminium	Udfældning	Byggematerialer	0,2 mg/L	0,2 mg/L	-	US EPA (1991)
	Klorid	Korrosion Skjolder på tøj	Vejsalt	250 mg/L	250 mg/L	250 mg/L	Dansk Standard (2009) Drikkevandsbekendtgørelsen (2016)
	Zink	Udfældning (høj temperatur og pH)	Bremser og dæk Byggematerialer (f.eks. zinktage)	-	5 mg/L	-	US EPA (2012) Ledlin et al. (2004)
	Sulfat	Korrosion	-	$\frac{Cl^{-}+2SO_4^{2-}}{HCO_3^{-}} < 1$ (målt i mmol/L)	$\frac{Cl^{-}+2SO_4^{2-}}{HCO_3^{-}} < 1$ (målt i mmol/L)	$\frac{Cl^{-}+2SO_4^{2-}}{HCO_3^{-}} < 1$ (målt i mmol/L)	Dansk Standard (2009)
	Tungmetaller	Sundhedsrisiko	Bremser og dæk	-	As: 15 µg/L, Pb: 15 µg/L, Cd: 7,5 µg/L, Cr: 75 µg/L, Ni: 75 µg/L, Hg: 1,5 µg/L	-	Estimeret baseret på Oeko-Tex (2016)

	Parameter	Problem	Eksempler på kilder	Toiletskyl	Tøjvask	Brandbekæmpelse	Reference(r)
Miljøfremmede stoffer	PAHer ²	Sundhedsrisiko	Asfalt, tjære og tagpap	-	Enkelte: 38 µg/L Total: 375 µg/L	-	Estimeret baseret på Oeko-Tex (2016)
	Pesticider (total)	Sundhedsrisiko	Bekæmpelsesmidler	-	38 µg/L	-	Estimeret baseret på Oeko-Tex (2016)
	Flammehæmmere	Sundhedsrisiko	Byggematerialer	-	Ikke målbar	-	Estimeret baseret på Oeko-Tex (2016)
	Phenoler	Sundhedsrisiko	Byggematerialer Atmosfærisk deposition	-	Penta- (PCP) og tetrachlorphenol: 3,8 µg/L, Trichlorphenol: 15 µg/L, Di- og monochlorphenol: 38 µg/L	-	Estimeret baseret på Oeko-Tex (2016)
Mikrobiologi	<i>E. coli</i>	Sundhedsrisiko	Fæces	1 CFU/100 mL ³	1 CFU/100 mL ³	10 CFU/100 mL ³	Philp et al. (2008)
	<i>Enterococci</i>	Sundhedsrisiko	Fæces	1 CFU/100 mL ⁴	1 CFU/100 mL ⁴	20 CFU/100 mL ⁴	Salgot et al. (2006)
	<i>Legionella pneumophila</i>	Sundhedsrisiko	Miljø (varmt vand)	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist	Salgot et al. (2006)

¹ Der bør være overskud af oxygen for at undgå lugtgener. Drikkevandsbekendtgørelsen stiller krav om 5 mg/L ved taphane, hvilket kan anvendes som vejledende koncentration

² benzo[a]pyren, benzo[e]pyren, benzo[a]anthracen, chrysen, benzo[b]fluoranthren, benzo[k]fluoranthren, benzo[a]fluoranthren og dibenz[a,h]anthracen

³ Er 250 CFU/100 mL i Badevandsdirektivet

⁴ Er 100 CFU/100 mL i Badevandsdirektivet

⁵ 'i' indikerer 'ikke relevant'.

Hvad sagde myndighederne?

- Dioxiner
- Furaner

Strategi for valg af måleparametre

- Hvad skal vandet bruges til – og hvordan?
- Hvilke gener er der risiko for?
- Hvilke måleparametre kan måle for risikoen?
- Hvilken parameter værdi er acceptabel?
- Hvilken prøvetagningsfrekvens?

- Vært: Amanda Megan Smith, COWI



Dialog med myndigheder

- Det nemmeste og sikreste som myndighed er at sige 'NEJ'
- Start dialog så tidligt som muligt
- Informer så meget så muligt
 - Skaber transparens
 - Skaber tillid til, at der er god vilje
 - Skaber tillid til, at der arbejdes professionelt og
- Tidlig involvering giver god tid, hvilket giver mulighed for refleksion – og tilvænning