



Norsk Vann

Workshop om rensing av mikroforurensninger

23.04.2024



Avansert rensing av mikroforurensninger

Erfaringer fra Sverige

Christian Baresel





Agenda

- Om oss
- Våra aktiviteter inom rening av mikroförroeningar
- Varför vill/ska vi rena bort läkemedelsrester? Och kanske även andra organiska mikroförroeningar?
- Källor och spridningsvägar av mikroförroeningar
- Överblick reningstekniker
- Dimensioneringsaspekter
- Miljöaspekter
- Kostnadsbilden
- Erfarenheter från pilot och fullskala
- Integrering och nytänk

Om oss

IVL

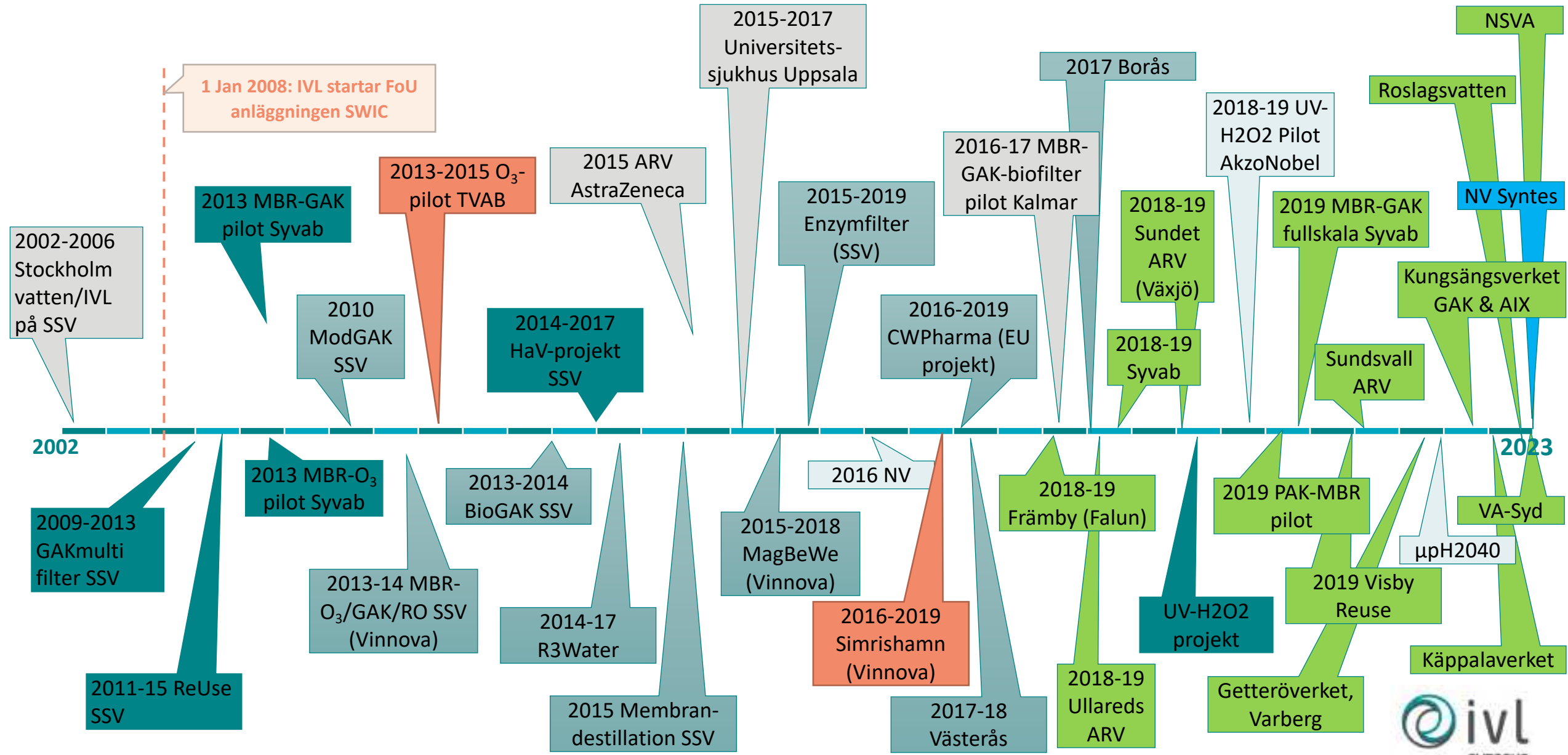
- IVL – från teori till tillämpning
- IVL-stiftelse: Fristående icke-vinstdrivande stiftelse för miljöforskning
- Eget analyslabb för analys och metodutveckling för mikroföroreningar
- FoU-anläggning Sjöstadsverket Water Innovation Centre (SWIC)

Min person

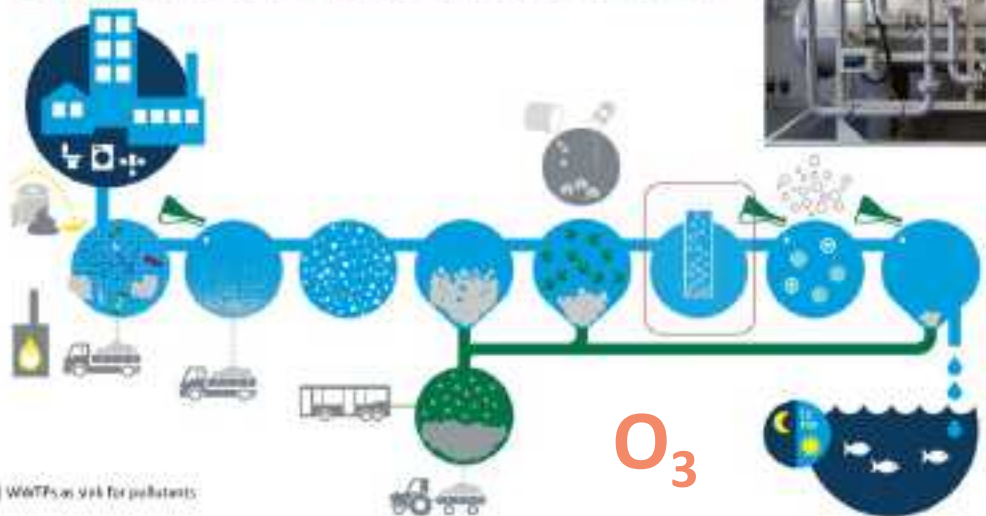
- TeknD från KTH i mark- och vattenteknik
- Jobbat med rening från läkemedelsrening och PFAS sedan 2008
- Men även annat som t.ex. MBR-tekniken, återanvändning, näringsåtervinning, slamhantering, GHG-emissioner, m.fl.



Några av IVL:s aktiviteter inom läkemedelsrening



First full-scale installation in Sweden for removal of pharmaceutical residues at WWTPs



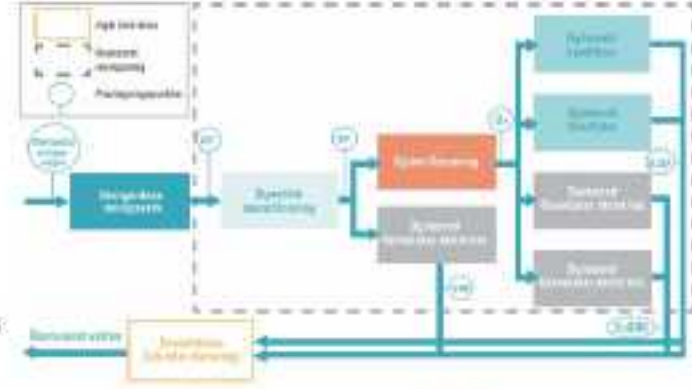
Tekniska verken
ivl
ivl

ivl | WWTPs as sink for pollutants

Simrishamn WWTP

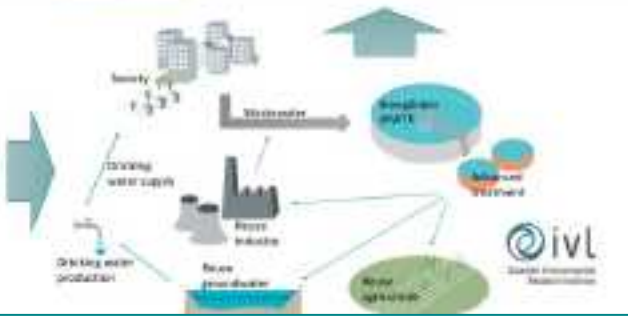
Southwest of Sweden, Skåne

- Today's challenges
- Water shortage
 - Falling groundwater levels
 - Water quality issues on land and coastal areas
 - Desalination an alternative
 - Linear systems for drinking water & sewage



Tomorrow's chances!

- Paradigm shift towards circular water management!



O₃ + GAK + SF

Removal of pharmaceuticals in water reuse applications



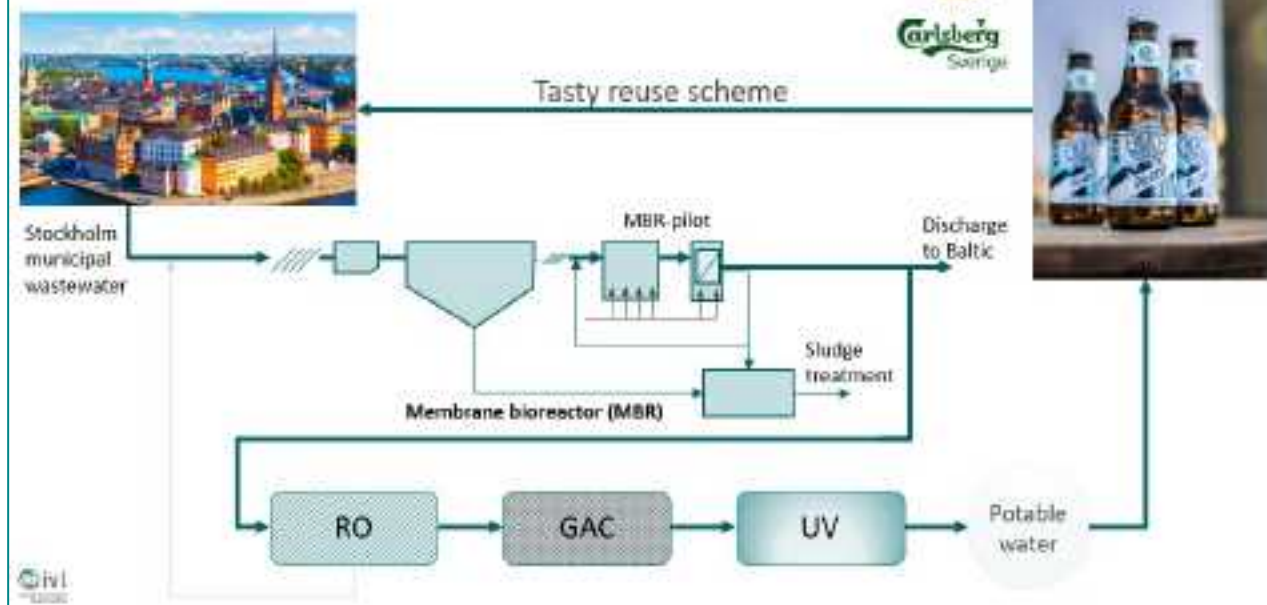
- Advanced processes for water reuse (mostly DPR) include efficient separation steps
- Separation not equal to removal of pharmaceuticals
- Better resource-efficiency when treating retentate compared to treatment of WWTP effluent?
- Same doses per removed DOC?
- Effect of concentrate matrix on treatment?
- Results available in January 2021



RO, O₃, GAK, UV/H₂O₂

ivl

GAK + RO + UV



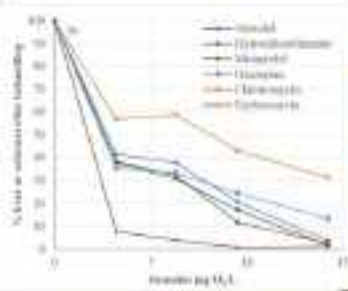
ivl

O₃+pond

Ullared ARV



- Mikrofiltrering (MF) + ozonoxidation (O₃)
- MEN: Inget reningsbehov konstaterades



SYVAB Himmerfjärdsverket



- Principförslag i samarbete med Ramboll
- MBR + 2-steps GAK med två linjer
- IVL-design
- I drift sedan 2021

MBR+2GAK

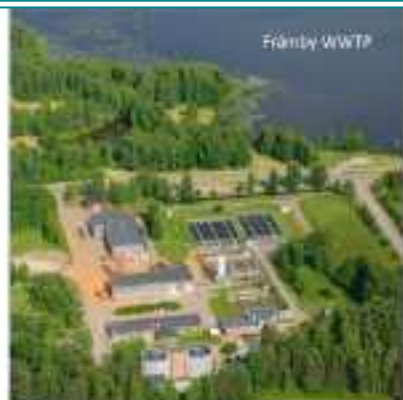


Främby WWTP

GAK



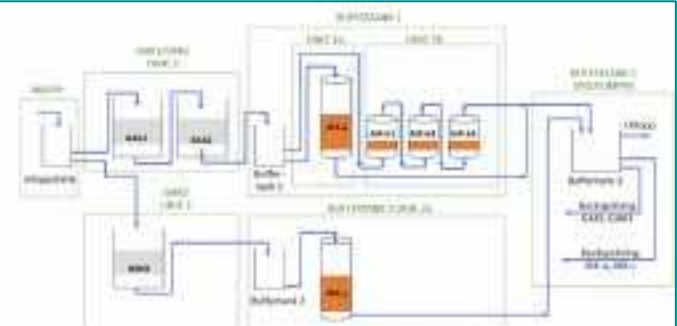
- Conventional activated sludge process with only BOD and phosphorus removal (no nitrification)
- Four GAC-filter lines
- Various EBCTs (Empty Bed Contact Times)
- With and without nitrification step to simulate NEW Främby WWTP
- Nitrification pilot based on MBBR
- Microfiltration (MF) before GAC-filters



Kungsängsverket Uppsala



- Läkemedel och PFAS rening
- Pilotanläggning med fler olika proceslinjer och tekniskt utförande
- Principförslag pågår med stöd av Ramboll och Sweco



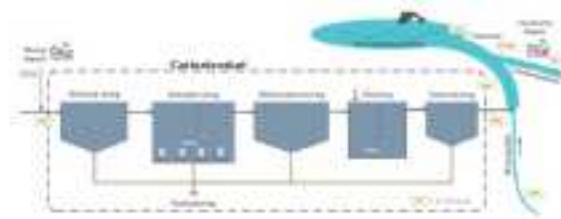
GAK + AIX

Processutförande	Samguld	Årlig driftkostnad (kWh/d)	Årlig släpplösning (t/år)
Sjögårdskanalen	Traditionell design	13	1 600
	MBR med nitrif. skivfilter	7	2 750
	MBR med nitrif. skivfilter	20	2 750
	Traditionell design	7	1 000
Trälsgårdskanalen	MBR med nitrif. skivfilter	1	0
	MBR med nitrif. skivfilter	9	4 300
	MBR med nitrif. skivfilter	8	1 400
	Traditionell design	10	4 300
Långsånkanalen	MBR med nitrif. skivfilter	23	1 000
	MBR med nitrif. skivfilter	21	2 250
	MBR med nitrif. skivfilter & skivfilter	8	1 000
	MBR med nitrif. skivfilter & skivfilter	10	2 250



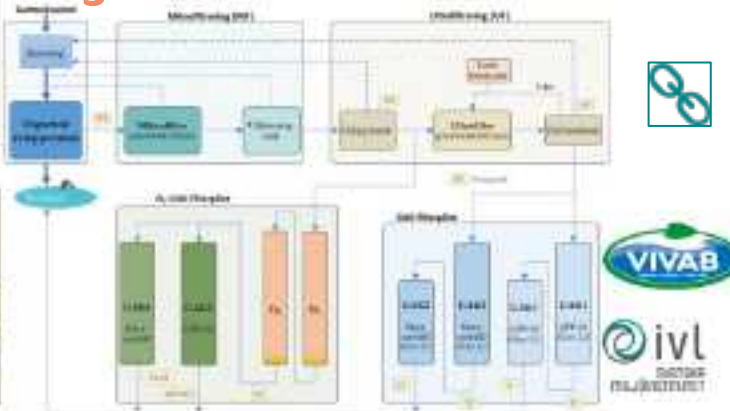
* Årlig avskrivning enligt svensk finanskommissionens (20 000 kr för GAK (2-steg), 200 000 kr för AIX)

Pilottester Getteröverket i Varberg



MF - UF - 2xGAK

O₃+GAK & UF+2-GAK



MF - O₃ - GAK

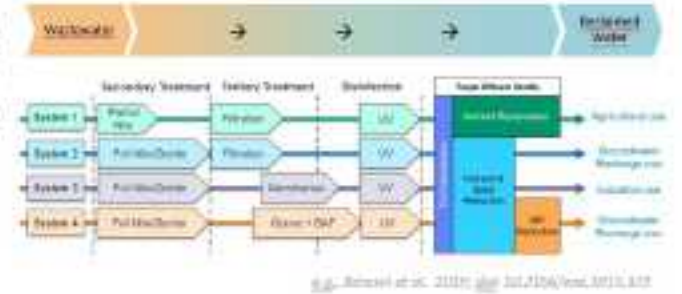


ReUse project with 8 pilot trains (WWTPs)



- Different reuse effluent quality requirements can be achieved by treatment systems that are ready to be implemented as they are based on available technologies.
- The total environmental impact does not need to be higher than conventional wastewater treatment despite a much better water quality.
- In fact, the total environmental impact for ReUse-schemes can be lower than for traditional treatment systems considering all benefits the reuse of wastewater generates!
- Costs for different reuse applications are in the same range or even lower than reported costs for existing conventional wastewater treatment plants in Sweden!

O₃ & NF & GAK & SF

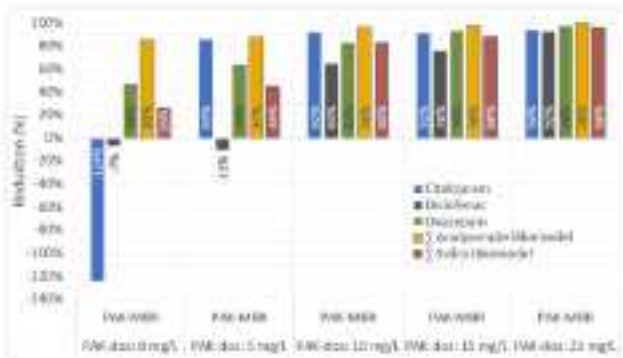


PAK-MBR

PAK



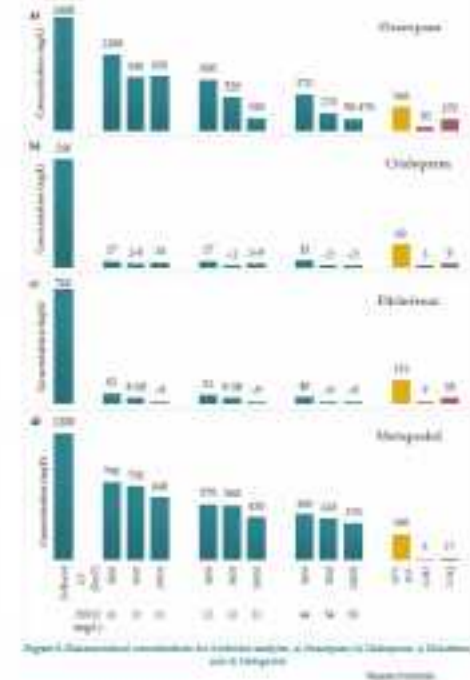
- Samma membrankassetter som i fullskala
- 2 parallella linjer i samma utformning, en som testlinje och en som referenslinje
- Dosering i inflöde membrantank
- Testade doser 0 - 25 g PAK/m³



UV + H₂O₂

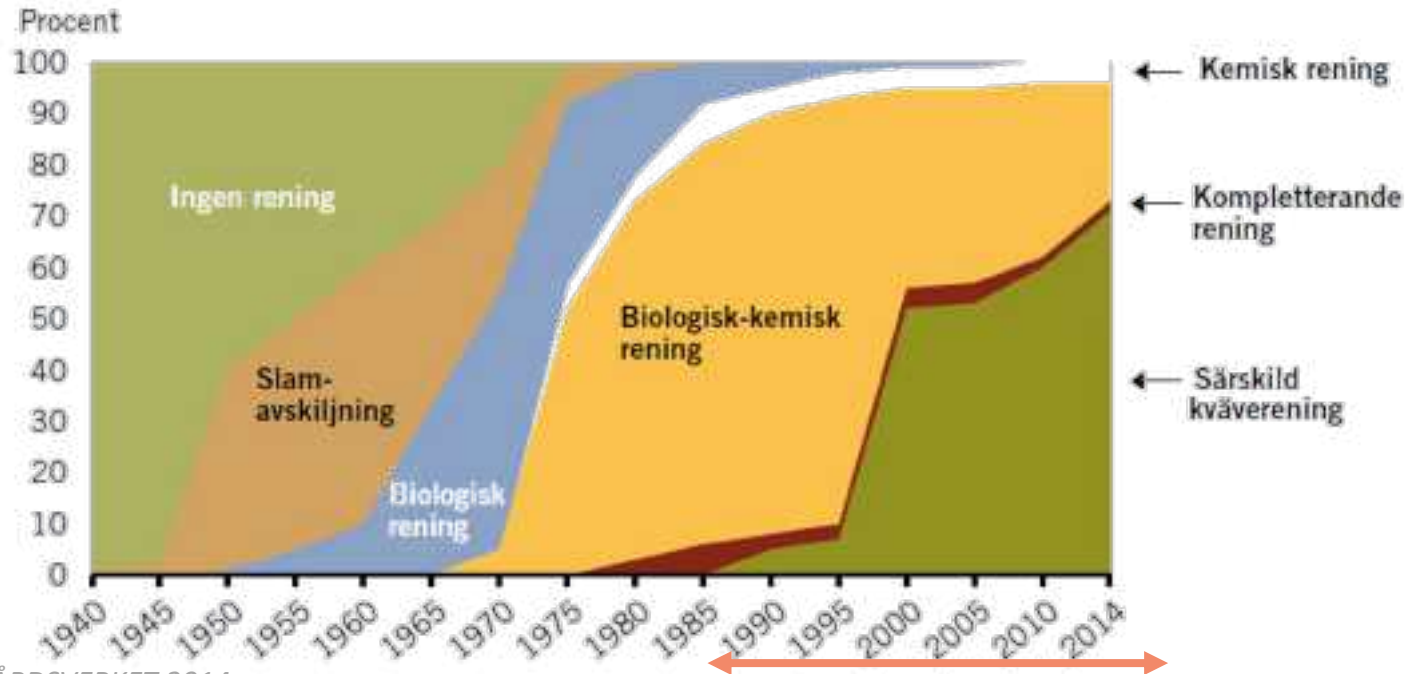
UV/H₂O₂

- UV-C dose: 2000-15000 J/m²
- Transmittance: 5-100% T10 (@254nm)
- Capacity: 1-2 m³/hr
- 1 UV-reactor HT-C390
- 4 UV-reactor IT W8





Varför rening från mikroföroreningar?



NATURVÅRDSVERKET 2014

- ➔ 1940 Sedimenteringstankar mot synliga föroreningar
- ➔ 1950 Biologisk rening mot låg syrehalt
- ➔ 1970 Kemisk fällning och biologisk rening mot övergödning
- ➔ 1990 Kväverening mot marin övergödning (mycket omdebatterad)
- ➔ 2024 Läkemedelsrening EU avloppsdirektiv

Ökat kunskap om bl.a.

- Toxicitet för människor
- Toxicitet för akvatiska organismer
- Bioackumulering, biomagnifikation
- Persistens
- Antibiotikaresistens

Recipientpåverkan

Exempel Diklofenak (låg säkerhetsfaktor):

- $PNEC = 1 \mu\text{g/l (LOEC)} \times 2 \text{ (pga. LOEC)} \times 10 \text{ (3 kroniska studier tillgänglig)} \rightarrow 0,05 \mu\text{g/l (50 ng/l)}$
- $MKN = 100 \text{ ng/l (inlandsvatten)}$
- Exempel: $EC = 250 - 1300 \text{ ng/l}$

Exempel Citalopram (hög säkerhetsfaktor):

- $PNEC = 0,15 \mu\text{g/l (LOEC)} \times 2 \text{ (pga. LOEC)} \times 1000 \text{ (endast 1 test akut toxicitet tillgänglig)} \rightarrow 0,000075 \mu\text{g/l (0,075 ng/l)}$
- Exempel: $EC = 22 - 500 \text{ ng/l (EC > LOEC!!)}$

Hormoner (östrogena effekter, effekttest)

- Förslag effekthalter/toxicitet: 1,4 (akut) | 0,3 (kroniskt) ng/L EEQ
- OBS: Inte bara hormoner, också t.ex. Bisfenol A

Exempel från verkligheten

Substans	ARV UT		1:a recipient		2:a recipient		3:e recipient		4:e recipient	
	EC	RK	EC	RK	EC	RK	EC	RK	EC	RK
	ng/L	-	ng/L	-	ng/L	-	ng/L	-	(ng/L)	-
Atenolol	373	0,01	377	0,01	380	0,01	330	0,01	92	0
Carbamazepine	603	0,24	583	0,23	560	0,22	460	0,18	290	0,12
Ciprofloxacin	<23	<0,35	<23	<0,35	<23	<0,35	<17	<0,27	<17	<0,27
Citalopram	600	8000	497	6620	433	5780	210	2800	<22	<293
Clarithromycin	90	2,25	66	1,65	62	1,56	65	1,63	<28	<0,69
Diclofenac	1400	28	1300	26	1233	24,7	1000	20	250	5
Erythromycin	35	1,74	<23	<1,13	<23	<1,13	<9	<0,45	<9	<0,45
Fluconazole	160	0,01	160	0,01	157	0,01	140	0,01	100	0,01
Furosemide	2967	19	2500	16	2467	15,8	1100	7,05	<23	<0,14
Ibuprofen	746	0,01	568	0,01	983	0,01	3400	0,03	280	0
Ketoconazole	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26	<26
Losartan	5033	0,65	4500	0,58	4167	0,53	1500	0,19	1100	0,14
Metotrexat	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<4	<4	<4	<4
Metoprolol	1767	0,68	1767	0,68	1667	0,64	1300	0,5	500	0,19
Naproxen	161	0,01	115	0,01	182	0,01	660	0,04	130	0,01
Oxazepam	390	39	357	35,7	340	34	260	26	140	14
Paracetamol	58	0	<31	0	<19	0	<14	0	330	0,01
Propranolol	180	0,79	160	0,7	140	0,61	110	0,48	<13	<0,06
Sertraline	167	17,7	89	9,43	80	8,48	62	6,60	<13	<1,38
Sulfamethoxazole	210	1,8	213	1,81	207	1,75	120	1,02	61	0,52
Tramadol	308	0	293	0	288	0	320	0	150	0
Trimethoprim	56	0,11	60	0,12	50	0,10	33	0,07	<14	<0,03
Venlafaxine	867	0,27	850	0,26	623	0,19	600	0,19	200	0,06
Zolpidem	<5	<5	<4	<4	<4	<4	<3	<3	<1	<1

➔ Hög säkerhetsfaktor innebär inte att en substans kan nedprioriteras!



Reningskrav, reningsmål: recipientklassning

Miljökvalitetsnormer & EQS-direktivförslag

Gränsvärden i recipient

Inte avstämt på varandra vilket skapar osäkerhet i åtgärdsplanering

Ämne (ng/l)	HVMFS 2019:25 Årsmedel/Maximal halt		Nya direktivförslaget Årsmedel/Maximal halt	
	Kustvatten	Inlandsvatten	Kustvatten	Inlandsvatten
Hormoner				
Östron (E1)			0,018/-	0,36/-
Östradiol (E2)	0,08/-	0,4/-	0,009/-	0,18/-
Etinylöstradiol (EE2)	0,007/-	0,035/-	0,0016/-	0,017/-
Läkemedel				
Azitromycin			1,9/18	19/180
Karbamazepin			250/160 000	2 500/1 600 000
Ciprofloxacin	-/100	-/100		
Klaritromycin			13/13	130/130
Diklofenak	10/-	100/-	4/25 000	40/250 000
Erythromycin			50/100	500/1 000
Ibuprofen			22/-	220/-
Fenoler				
BPA Bisfenol A	110/-	1 600/2 700	0,034/-	0,034/130 000
NP Nonylfenol	300/2 000	300/2 000	1,8/170	37/2 100
OP Oktylfenol	10/-	100/-	10/-	100/-
PFAS				
∑PFAS11	-/90	-/90		
∑PFOA _{ekv} (PFAS24)			4,4/-	4,4/-
PFOS	0,13/7 200	0,65/36 000		

Avloppsdirektivet

medelreduktion 80 % av 6 ämnen

Beskrivning	Namn
Kategori 1	Amisulprid
	Karbamezipin
	Citalopram
	Klarithromycin
	Diklofenak
	Hydrochlorothiazid
Kategori 2	Metoprolol
	Venlafaxin
	Benzotriazol
	Kandesartan
	Irbesartan
	Blandning av 4- och 6-methylbenzotriazol
Kategori 3 ämnen med hög risk ^a	Telmisartan
	Bisfenol A
	β-östradiol
	PFOS

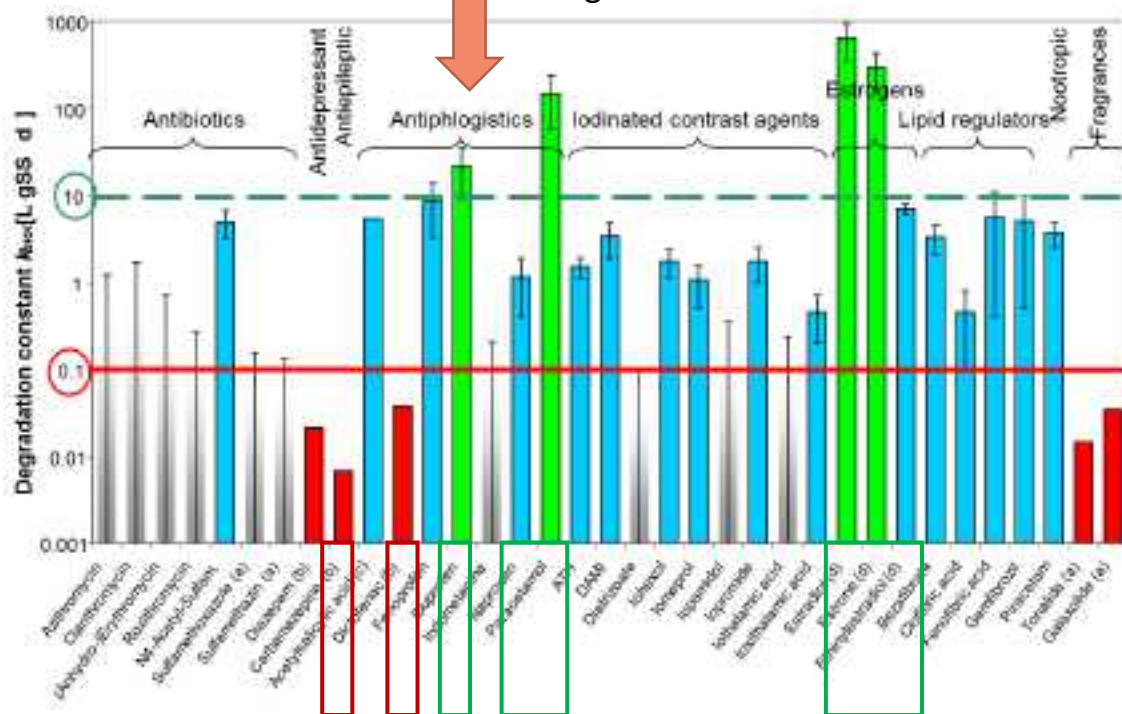


Avskiljningsgrad på traditionellt reningsverk

Faktisk reduktion Himmerfjärdsverket →

Bionedbrytbarhet ↓

Utökad biologisk rening behövs



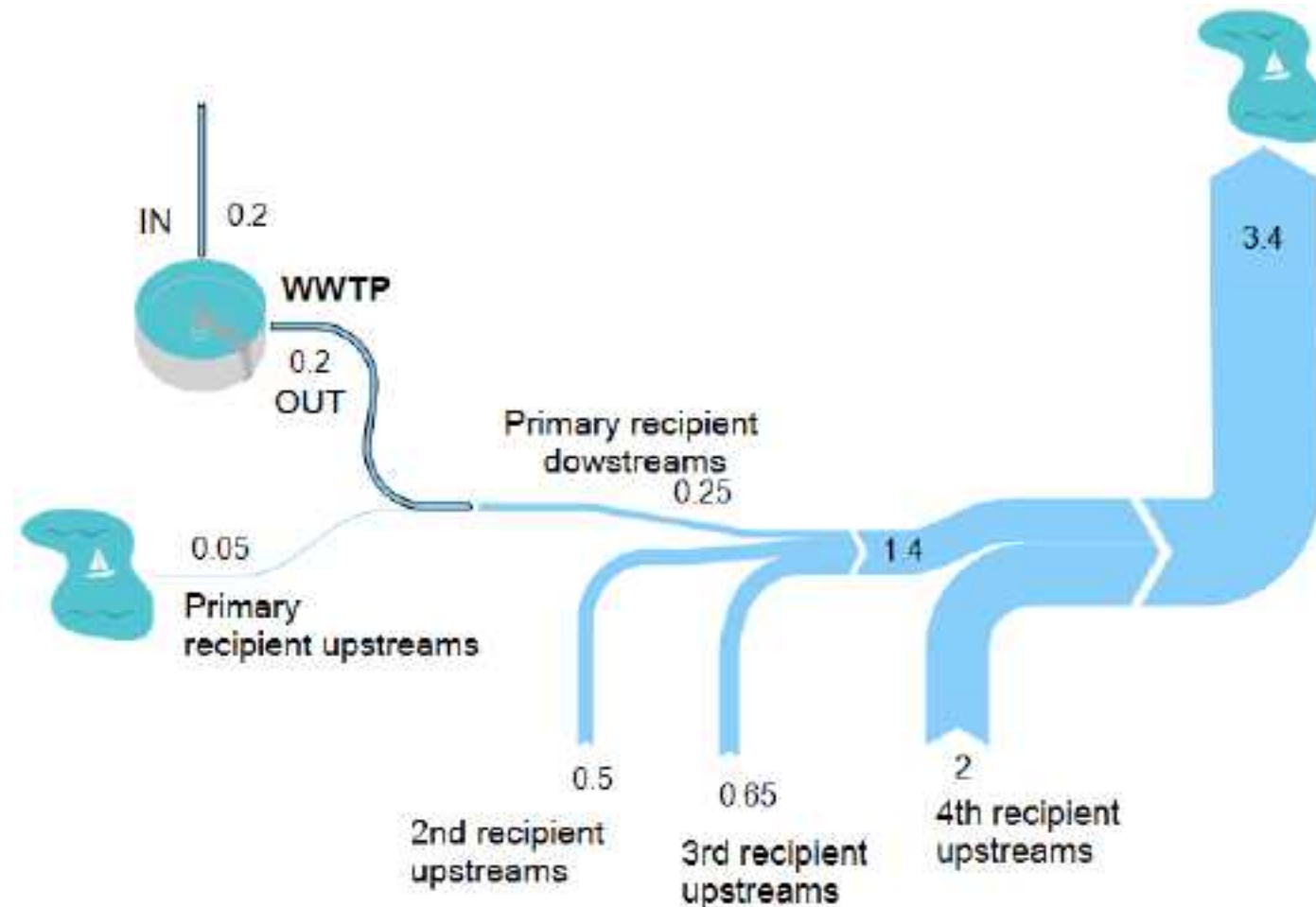
Substans [ng/l]	I - v9		II - v14		III - v26		Medel I-III		Rening I-III %
	IN	UT	IN	UT	IN	UT	IN	UT	
Hormoner									
Östron (E1)	52	0,5	37	1	34	0,5	41,0	0,7	98%
Östradiol (E2)	5	1,5	8	1	17	0,5	10,0	1,0	90%
Etinyöstradiol (EE2)	3,5	0,5	2,5	1	2,5	0,5	2,8	0,7	>70%
Läkemedelsrester									
Amlodipine	230	120	65	52	83	91	126	87,7	30%
Atenolol	660	580	630	270	530	440	607	430	29%
Bisoprolol	100	140	100	97	96	99	98,7	112	-18%
Carbamazepine	350	410	380	470	620	500	450	460	-2%
Citalopram	230	260	240	300	410	450	293	337	15%
Diclofenac	890	860	980	780	1200	1100	1023	913	11%
Fluoxetina	34	40	25	29	24	40	27,7	36,3	-31%
Furosemide	1700	1000	2000	740	1700	2100	1800	1290	29%
Hydrochlorothiazide	1200	1200	1400	1200	1500	1400	1367	1267	7%
Ibuprofen	7000	94	7100	37,5	7000	180	7033	104	99%
Ketoprofen	460	250	240	160	340	140	347	183	47%
Metoprolol	1900	2100	1500	1600	2100	2000	1833	1900	4%
Naproxen	8100	360	8100	200	7400	160	7867	240	97%
Oxazepam	1800	1800	1600	1800	2400	2800	1933	2133	-10%
Paracetamol	15	15	30	30	10	15	10,0	15,0	-50%
Propranolol	76	98	72	110	110	180	86,0	129	-50%
Ramipril	5	5	15	15	15	15			
Ranitidine	670	440	210	42	160	270	347	251	28%
Risperidone	5	20	3	3	5	5			
Sertraline	130	65	88	39	40	65	86,0	56,3	34%
Simvastatin	2600	56	150	45	350	80	1033	63,7	94%
Terbutaline	22,5	22,5	7,5	7,5	11	15	11,0	15,0	-36%
Warfarin	15	13	11	4,8	9	4,7	11,7	7,5	36%
Antibiotika									
Benzympenicillin			1,5	1,5	5	5			
Ciprofloxacin	3	3	21	3,5	21	1	15,0	2,5	83%
Clarithromycin	37	24	160	150	170	140	122	105	14%
Clindamycin	1,5	6,1	3	21	1	7,4	1,8	11,5	-527%
Doxycycline	12	12	300	60	75	75			
Erythromycin	11	1,5	69	85			40,0	43,3	-8%
Fusidic acid	3	3	7,5	7,5	37,5	37,5			
Linezolid	75	75	5	5	12,5	12,5			
Metronidazole	3,8	4,7	8,9	90	38	53	16,9	49,2	-191%
Moxifloxacin	3	3	12,5	12,5	5	5			
Norfloxacin	1	1	22,5	22,5	6	6			
Rifampicin	8,4	8	62	43	160	75	76,8	42,0	45%
Sulfamethoxazole	45	6,4	400	59	360	56	268	40,5	85%
Tetracycline	320	75	1100	120	840	45	753	80,0	99%
Trimetoprim	17	17	15	33	3,6	6,1	9,3	19,6	-110%
Reningseffektivitet: >80% >40% <40%									

XX - < LOD/2 (Limit of Quantification, i.e. smallest amount of analyte can be measured with reasonable accuracy)
 XX - < LOD (Limit of Detection, i.e. maximum detectable concentration)

Water flow, concentration and mass flow




- Diclofenac mass flow (kg/yr)
- Water flow (m³/s)
- Diclofenac Conc (µg/l)

Limit for chronic toxicity (HVMFS 2019:25) 0.1 µg/l annual average

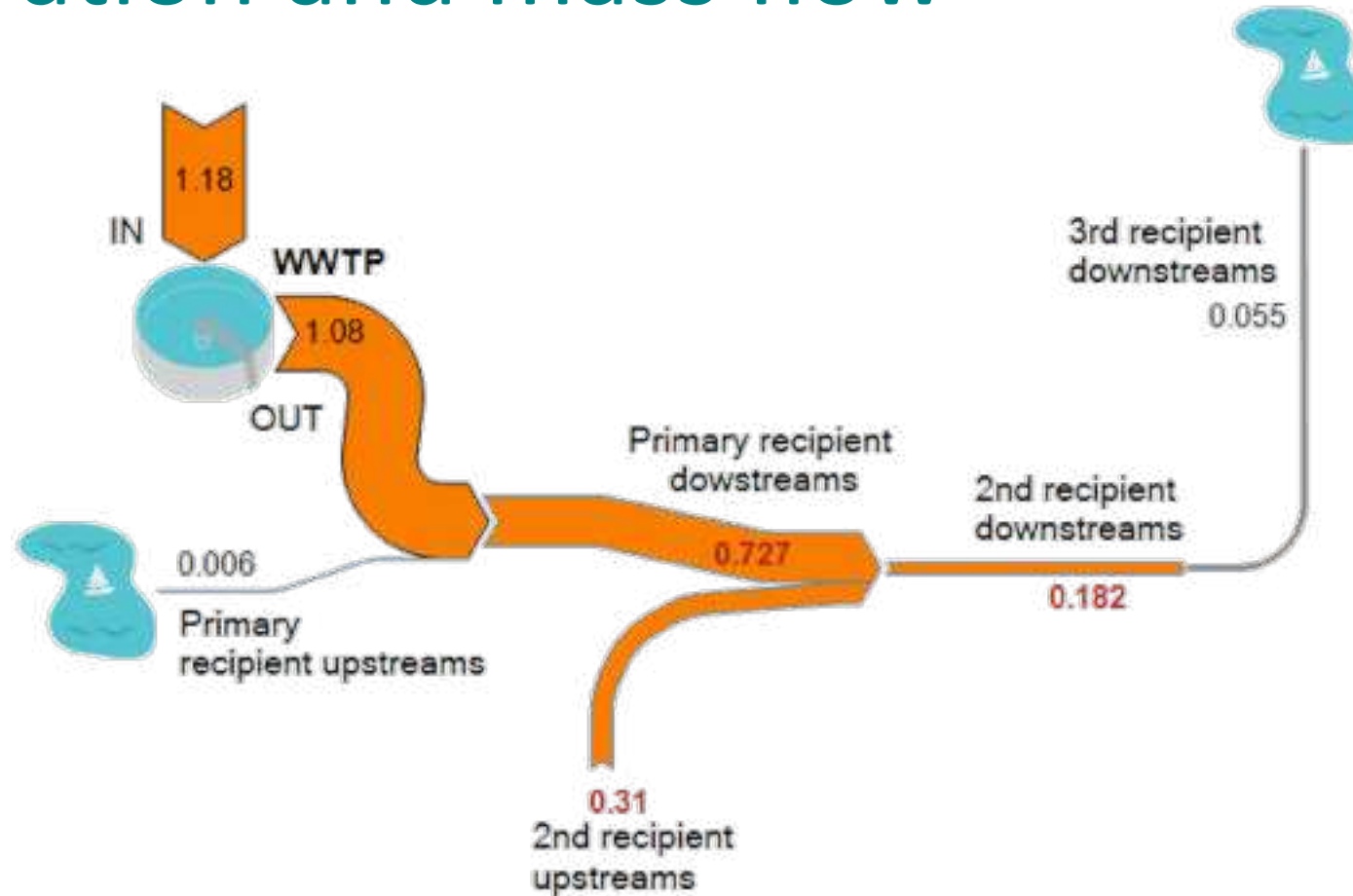
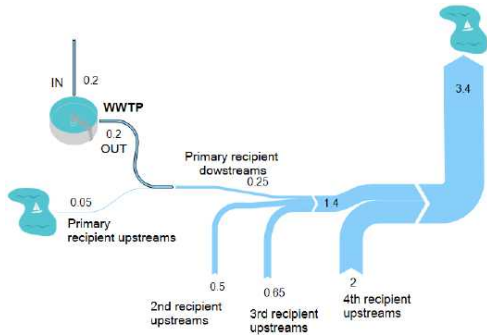


Real life example

Water flow, concentration and mass flow




-  Diclofenac mass flow (kg/yr)
-  Water flow (m³/s)
-  Diclofenac Conc (µg/l)

Limit for chronic toxicity
(HVMFS 2019:25) 0.1 µg/l
annual average

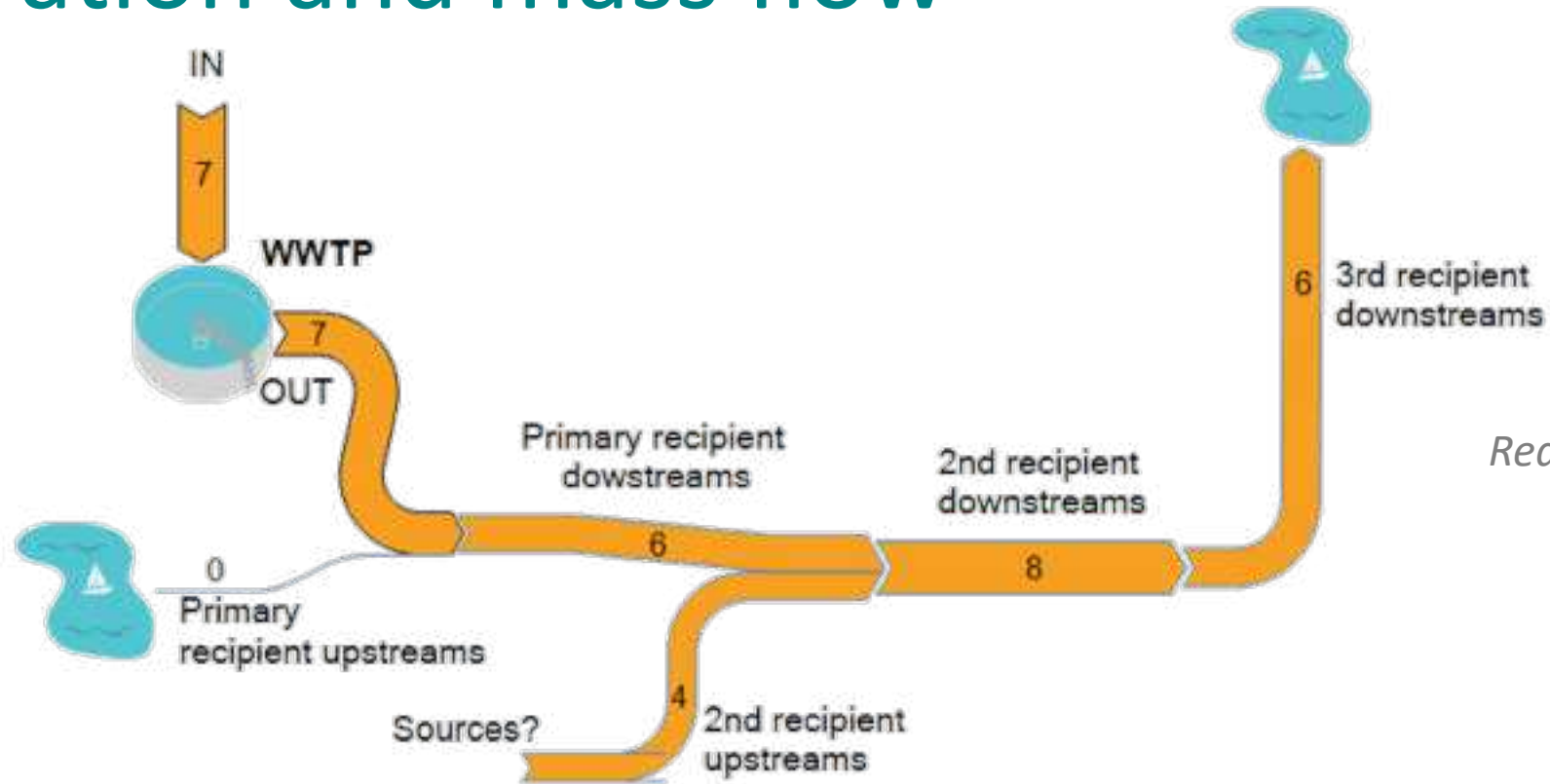
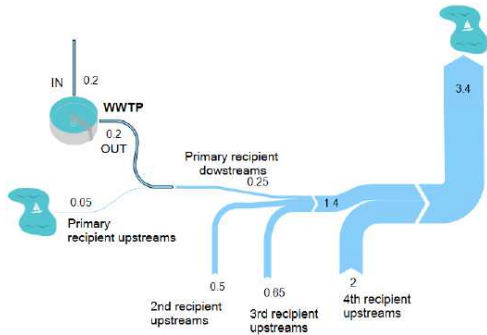


Real life example

Water flow, concentration and mass flow

-  Diclofenac mass flow (kg/yr)
-  Water flow (m³/s)
-  Diclofenac Conc (µg/l)

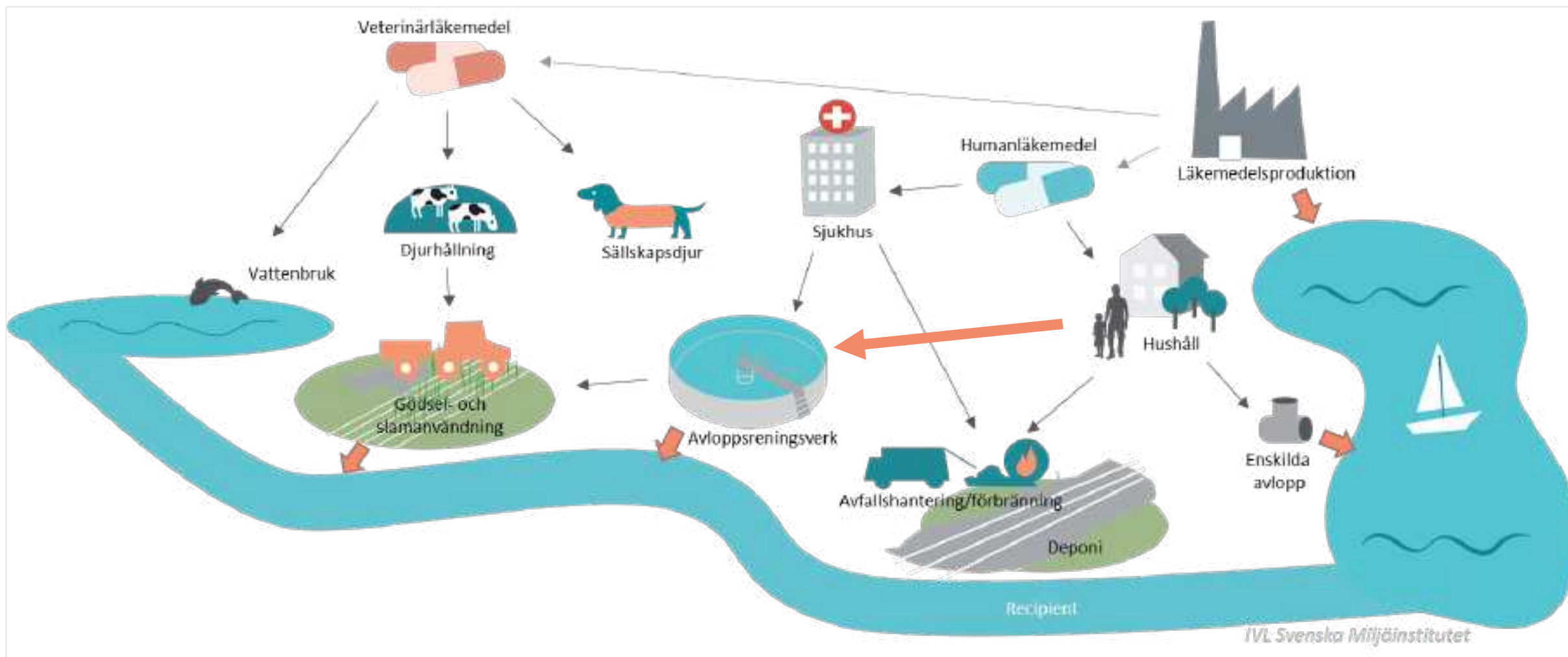
Limit for chronic toxicity
(HVMFS 2019:25) 0.1 µg/l
annual average



Real life example

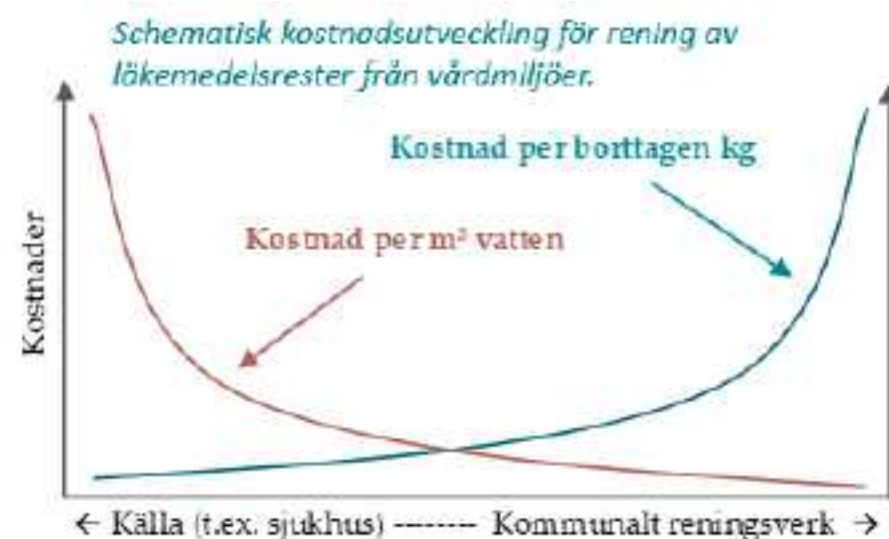
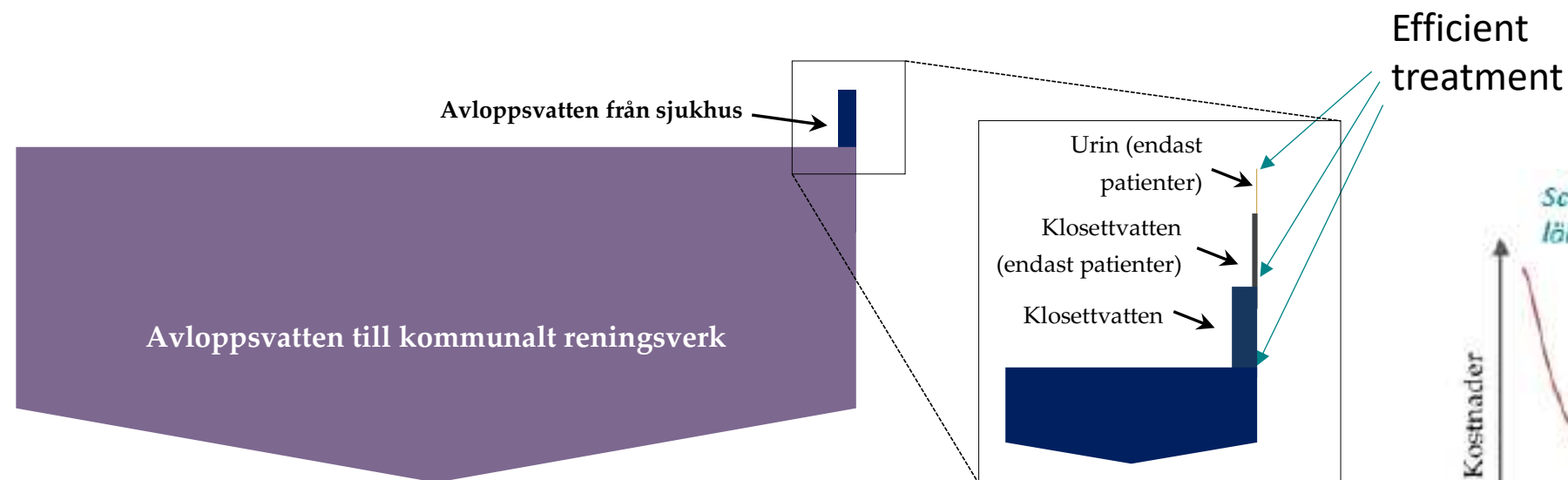


Källor och transportvägar



Behandling så nära källor som möjligt (tillverkning, sjukhus – endast vid relevans (t.ex. ABR!))

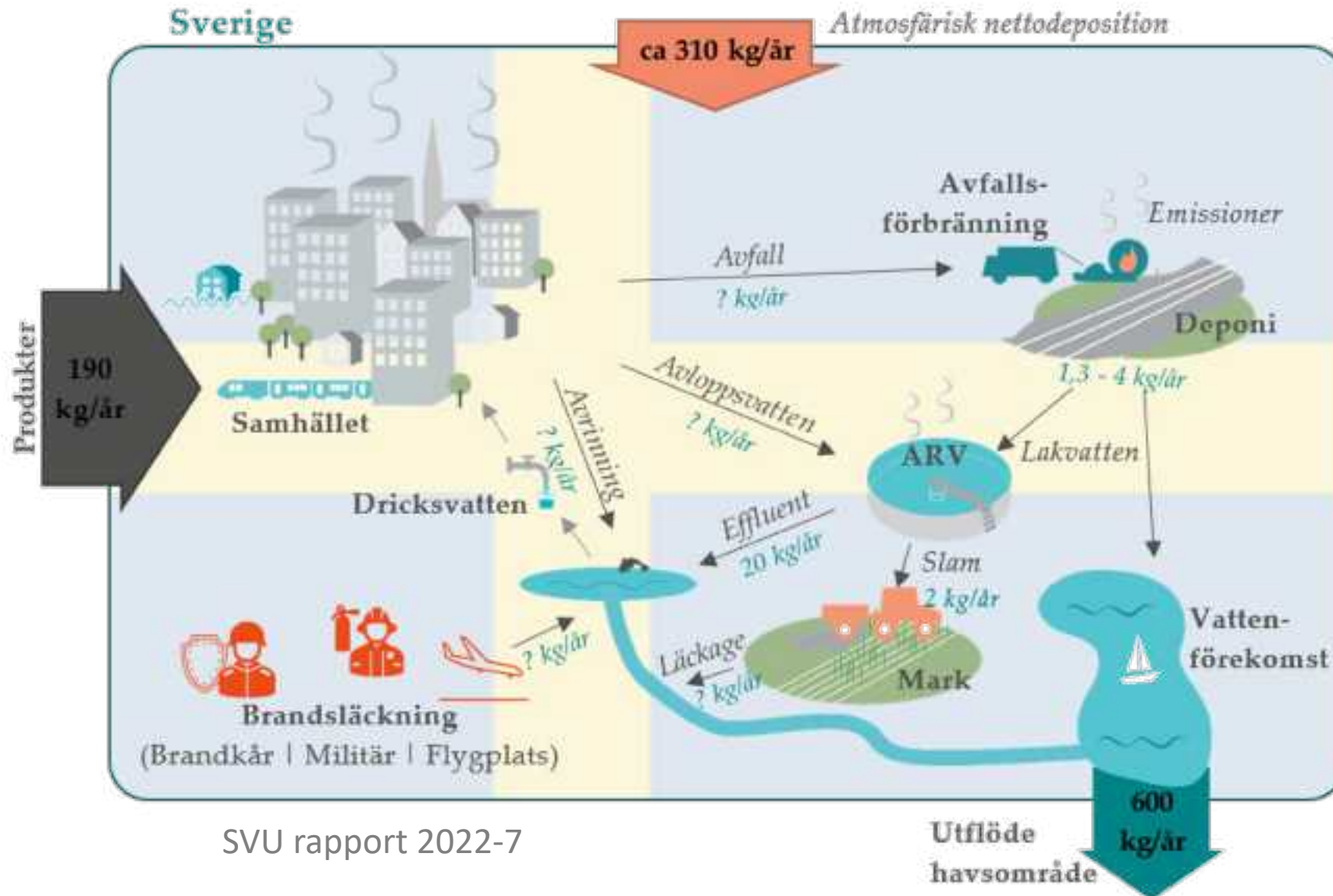
För effektiv rening avseende reningsverkets storlek, resursförbrukning, kostnader och definierade reningsmål bör reningen försöka begränsas till så koncentrerade avloppsvattenflöden som möjligt.



Förhållande av olika avloppsvattenflöden baserat på totalflöden för sjukhus i Region Stockholm och skattade delflöden baserat på antal vårdplatser



Källor och transportvägar PFAS





Sammanfattning renningsmetoder

SOLUTIONS

- Ready to implement
- Only limited relevance
- Under development or with practical problems

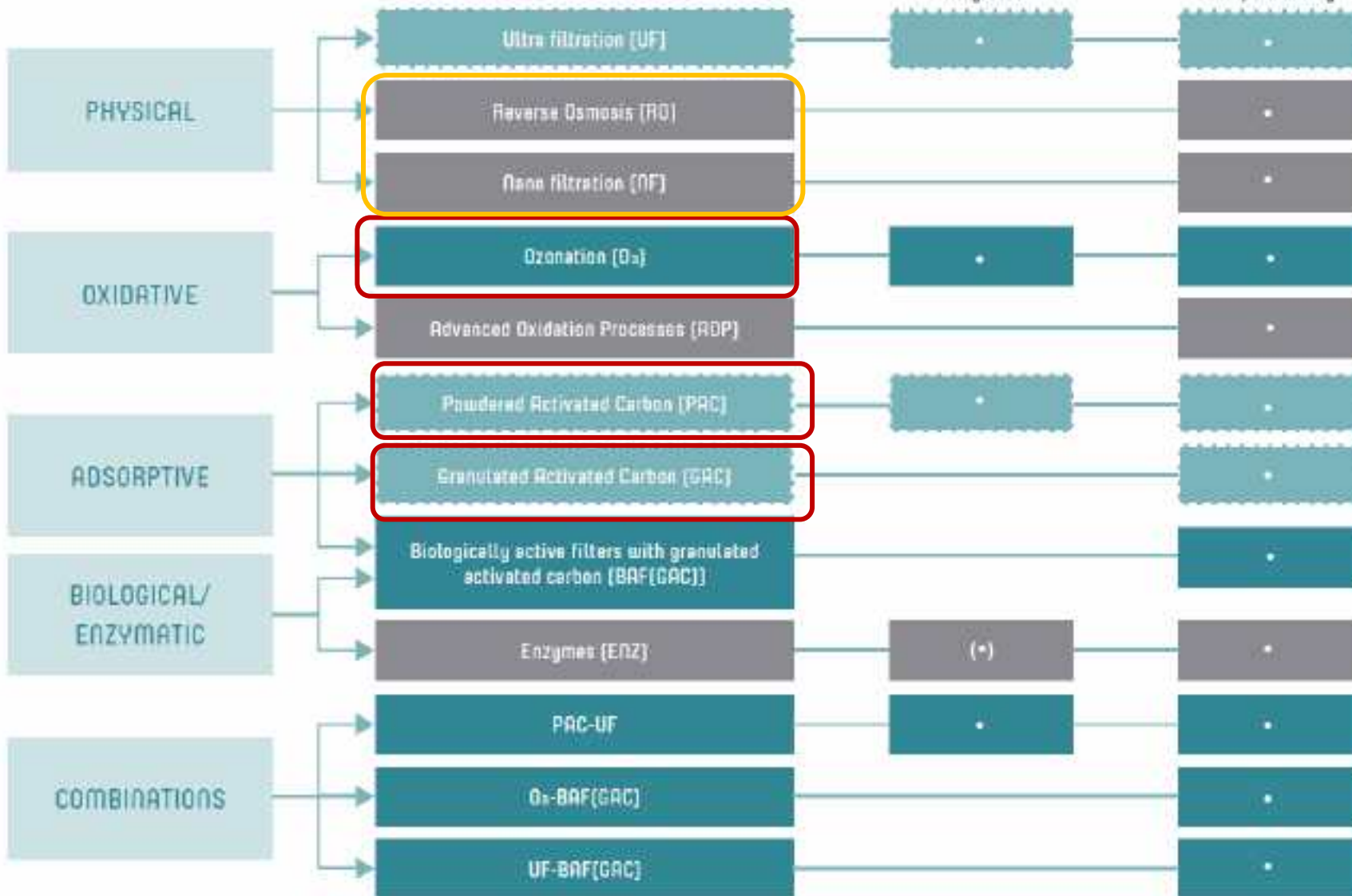
IMPLEMENTATION IN RELATION TO MAIN TREATMENT PROCESS

TREATMENT PRINCIPLE

TREATMENT TECHNOLOGY

Integrated

Complementary



Rapport

Handboken för utvärdering av miljöförbättringar vid avloppsanläggningar

Handboken om installation av avloppsanläggningar för småbostäder och andra småskaliga anläggningar

Handboken om utvärdering av miljöförbättringar vid avloppsanläggningar



ivl
2020
978-91-7811-111-1



Sammanfattning reningsmetoder PFAS

	Purification process	Purification technology	PFAS residual product ⁽¹⁾
PFAS purification	Membrane separation	Reverse Osmosis (RO)	Retention (10–30 %)
		Nanofiltration (NF)	Retention (10–30 %)
	Adsorptive techniques	Activated carbon	GAK/PAK-sludge slurry
		Ion Exchanger (AX)	The ion exchange mass
	Other techniques	Foam fractionation	Foam/sludge
	Chemical destruction	Advanced Reducing Processes (ARP)	By-products
Ultrasound/cavitation		By-products	
Electrochemical treatment		By-products	
PFAS mineralization	Thermal destruction	Combustion	No by-products ⁽²⁾
		Supercritical wet oxidation (VO)	No by-products ⁽²⁾
		Pyrolysis	Possible by-products

Legend: Standard technology Technology development

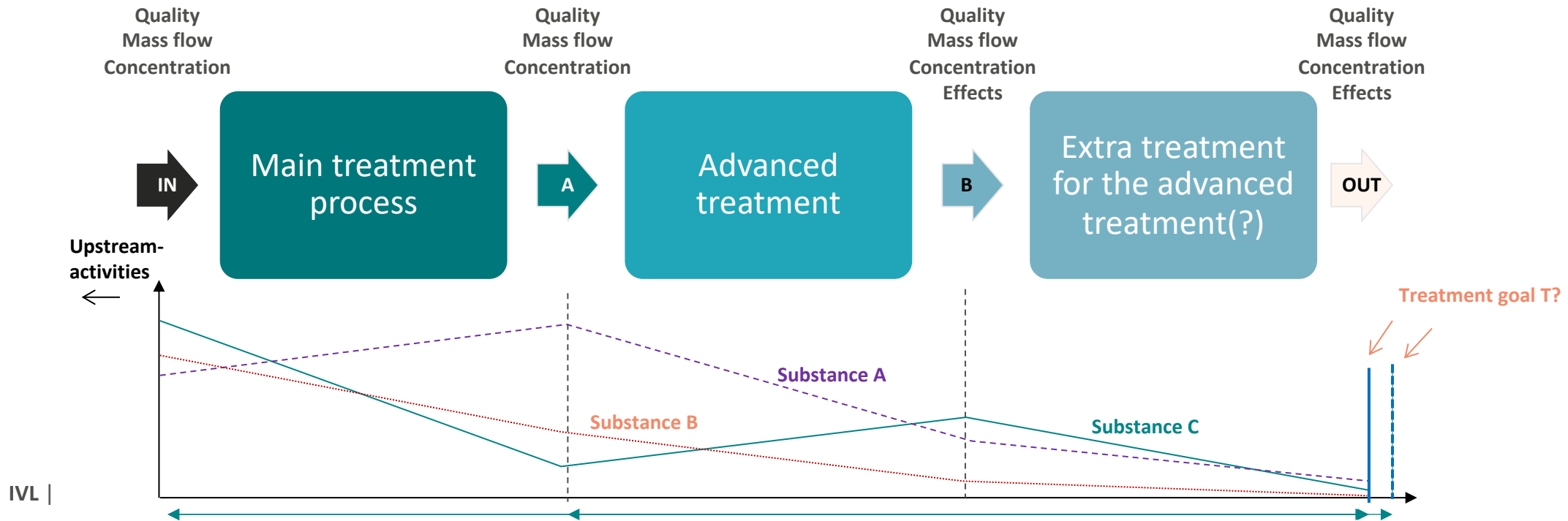
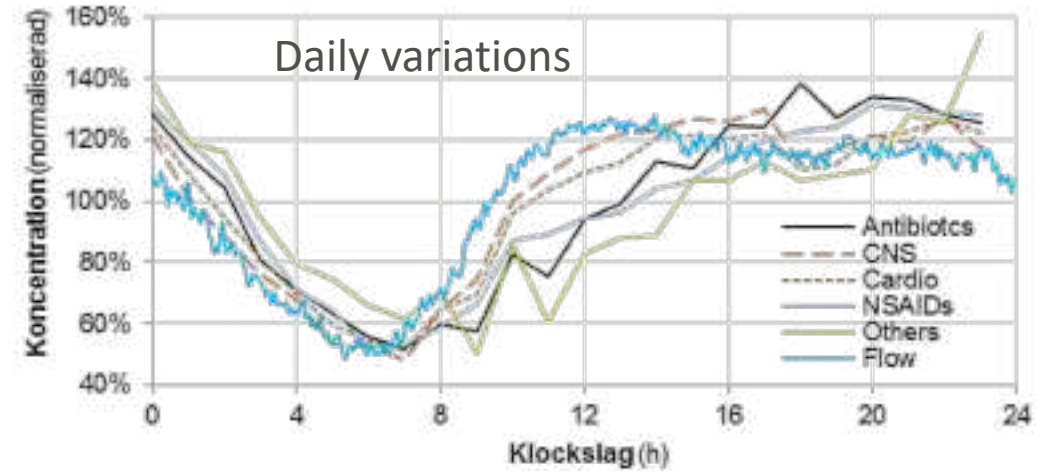
⁽¹⁾ any treatment of residual products is required; ⁽²⁾ a complete degradation only under the right conditions which needs to be confirmed in long-term operation



[Report english](#)
[SVU rapport svensk](#)



Focus on treatment systems



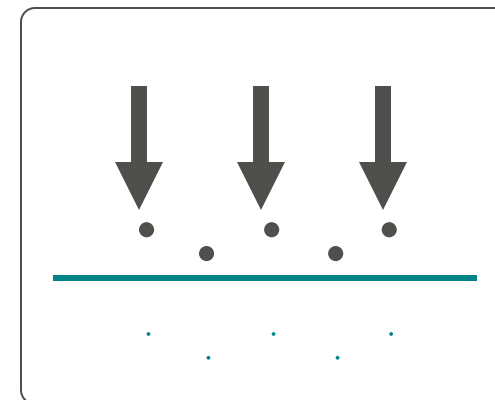
Mest relevanta reningstekniker

Membranfiltrering t.ex. nanofiltrering (NF) och omvänd osmos (RO)

+ effektiv separation av läkemedelsrester och bakterier från avloppsvatten

+ kompakt

- kräver en kraftig förbehandling
- kräver mycket energi
- kräver kemikalier för membranrengöring
- genererar ett koncentrat som behöver hanteras



Mest relevanta reningstekniker

Biologisk rening t.ex. konventionellt aktivt slam (CAS), Membranbioreaktortekniken (MBR), Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Integrated Fixed film Activated Sludge reactor (IFAS), biologiska aktiva filter (BAF), Fluidised Bed Biofilm Reactors (FBBR), etc.

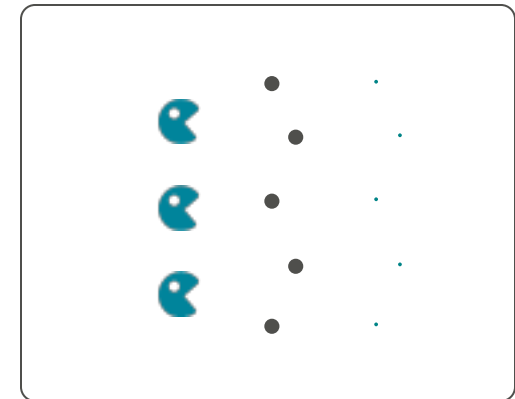
+ nedbrytning av läkemedelsrester

+ inga kemikalier behövs

- fungerar endast för vissa läkemedelsrester

- kan kräva flera biologiska steg för en effektiv rening

- producerar slam som behöver hanteras



Mest relevanta reningstekniker

Oxidativa metoder t.ex. ozonering och UV-ljus och väteperoxid (UV/H₂O₂), etc.

+ mycket god reningseffekt

+ oxidation av läkemedelsrester

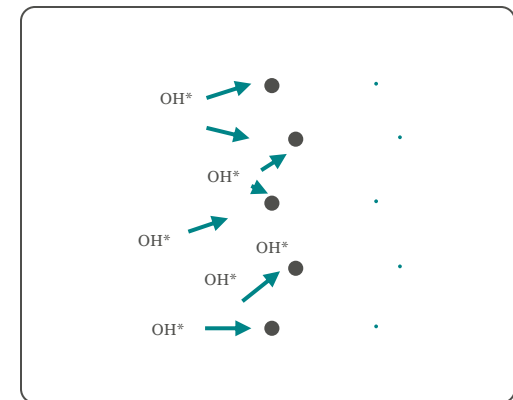
+ flexibel till olika belastningar

- kan skapa oönskade nedbrytnings- och biprodukter (t.ex. bromat)

- kräver mycket energi (och i vissa fall kemikalier)

- O₃ kan påverkas av "störämnen" som nitrit (3,43 mg O₃/mg NO₂-N), lågvärdig järn eller krom

- "behöver" en efterbehandling



Mest relevanta reningstekniker

Aktivt kol t.ex. granulerat aktivt kol (GAK) eller pulveriserat aktivt kol (PAK)

+ mycket god reningseffekt

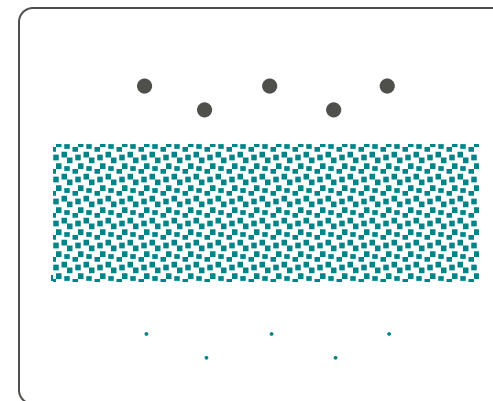
+ föroreningar förstörs vid regenerering/destruktion av kolet

+ kan även inkludera en biologiskt rening vilket

ökar reningseffekten

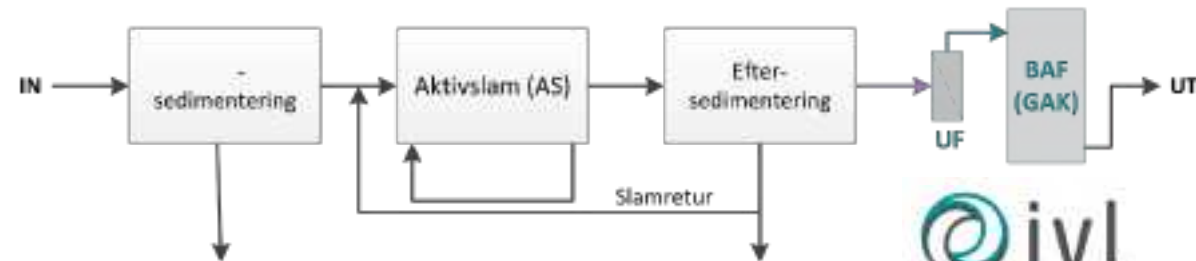
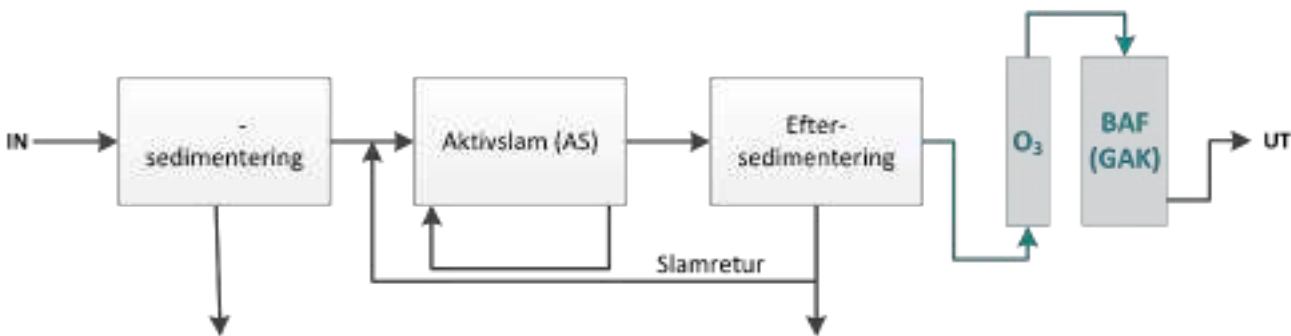
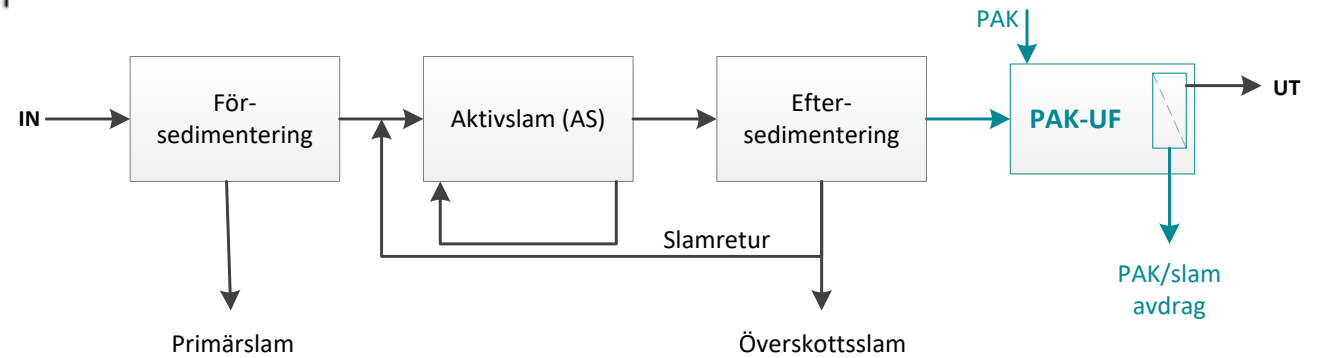
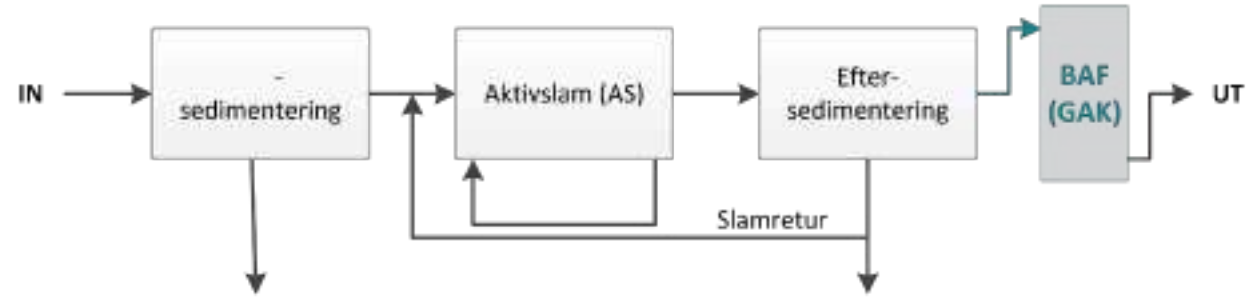
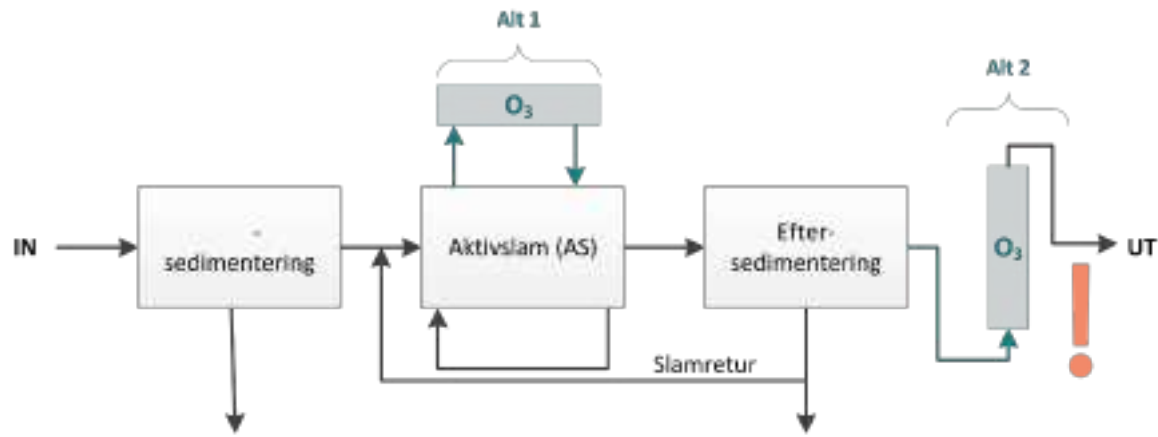
- förbrukat kol behöver regenereras eller destrueras

- reningseffekten avtar succesivt





Teknikimplementering

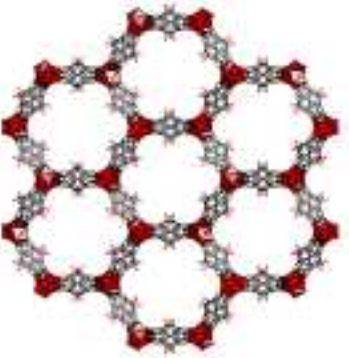
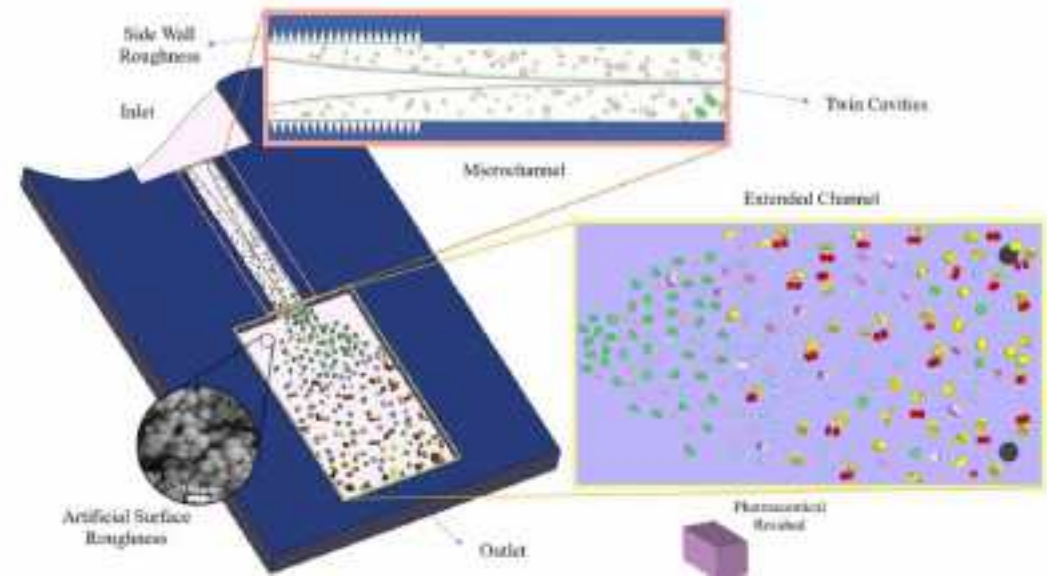




Innovativa tekniker på G

(för att minska resursanvändning)

- **Hydrodynamisk kavitation:** Små kavitationsbubblor genereras i mikrokanaler med olika ytbeskaffenhet utan tillsats av kemikalier och endast flödesenergi. (läkemedel och PFAS)



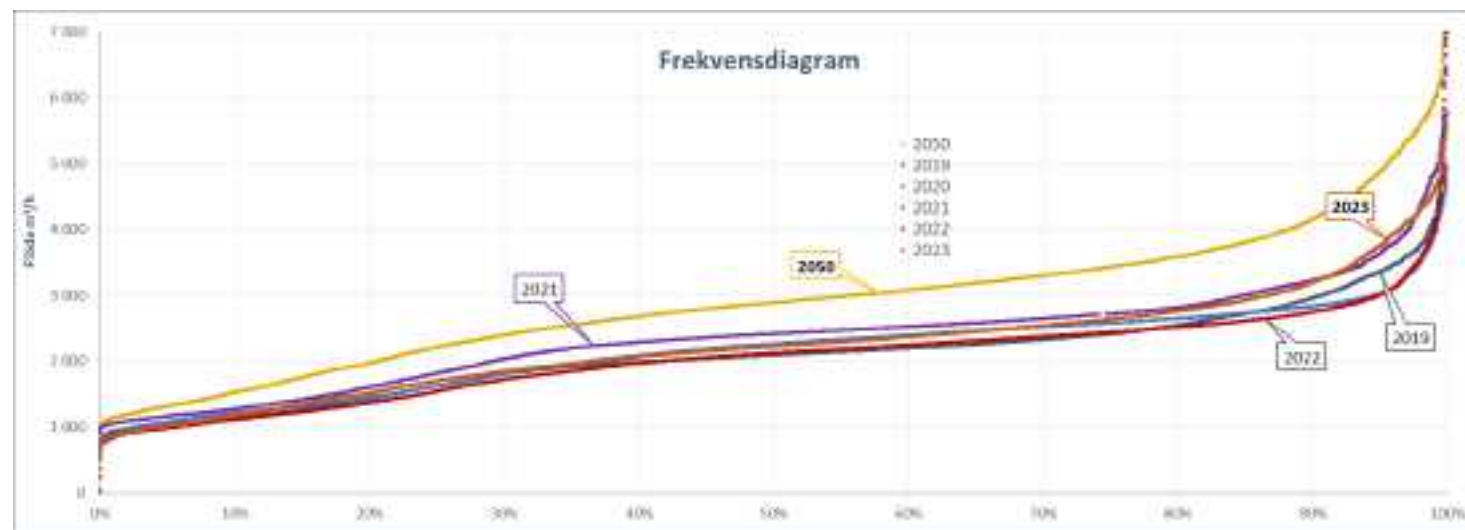
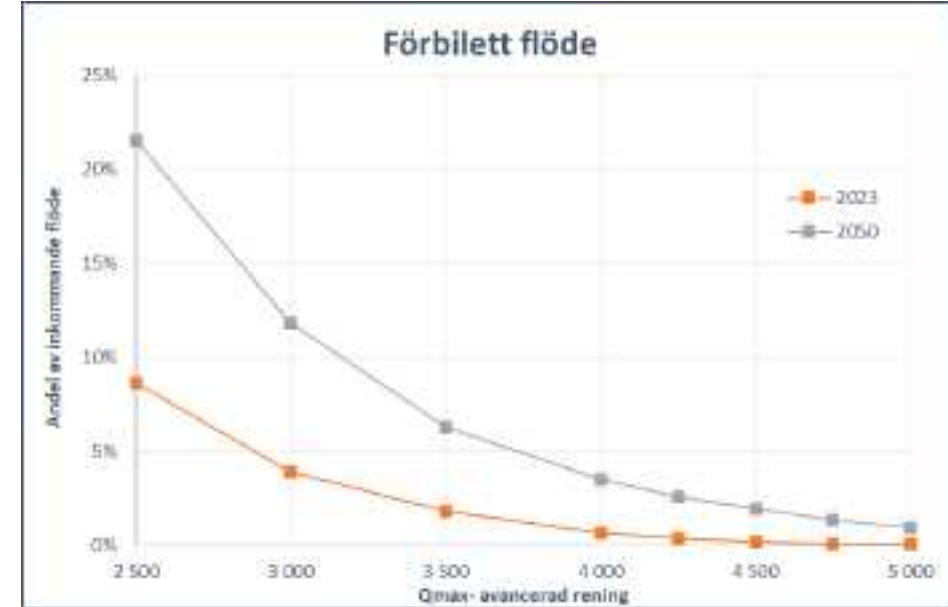
- **Metal-Organic Frameworks (MOFs):** Porösa växtbaserade material kombinerat med metaller med bra selektiva sorptionsegenskaper. Mängder av olika varianter kan genereras (läkemedel och PFAS)

- **Skumfraktionering i kombination med t.ex. ozonering eller GAK:** Initiala teser pågår. (läkemedel och PFAS)



Aspekter vid dimensionering

- Frekvensdiagram kan varieras mycket mellan olika ARV
- Prognostiserat flöde i framtiden?
- Flöde som ska behandlas: $Q_{\text{dim,AR}} = Q_{\text{bio-max}}$?
(Avloppsdirketivet: "dry weather conditions flow")
- Exempel:
 - $Q_{\text{max,ARV}} = >7000 \text{ m}^3/\text{h}$,
 - vald $Q_{\text{dim,AR}} = 4500 \text{ m}^3/\text{h}$
 - $Q_{\text{medel,AR}} = 2850 \text{ m}^3/\text{h}$ (2023: $2200 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - Behandlat årsflöde: 98,1 % (2023: 99,8 %)
 - $Q_{\text{medel,AR}}$ används för kostnadsberäkning
- Förbehandling
 - Avgörande för effektiviteten, UF, SF, MF
- Efterpolering
 - T.ex. ozonering eller PAK
- *Krav på energineutralitet på nationell nivå?!*
- Synergier



Problemägarens kunskap viktig för bra resultat

Varför? Oseriösa och okunniga aktörer (medveten eller omedveten) på marknaden

- "Med vår teknik bli det negativa driftkostnader, alltså driftintäkter"
- 40 % reningseffekt för en substans utav 40 substanser marknadsförs som bra reningsteknik
- Doser, kontakttider etc. kan inte anges för tester
- GAK "färdigutredd" med pilotester på 3 veckor
- Ytbelastning på 10 m/h i en filterbädd på 0,5 m med 20 min EBCT?!
- Bänkskaletekniker med få mg sorbent marknadsförs som klart för fullskaleinstallation
- Teknik som baseras på befintliga utgångsprodukter men extra behandlingssteg marknadsförs som billigare än befintliga produkter
- Styrning av ozondosering på helt irrelevanta parametrar
- Teknikleverantörer erbjuder teknikutvärderingar åt kunder som resulterar i högsta betyg av egna tekniker
- Lyckade pilotförsök vid TVAB men sedan tekniska utmaningar i fullskala då man väljer en annan teknisk utformning av ozoninblandning
- Fel materialval för GAK-filter som leder till driftstopp (Simrishamn)





Miljöpåverkan från olika tekniker

Den viktigaste negativa miljöaspekten som samtliga reningstekniker/-kombinationer medför är klimatpåverkan på grund av en ökad energianvändning.

Aktivt kol

- Produktion och reaktivering av aktivt kol kräver stora mängder energi och resurser
- Svenskt biokol från restprodukter som avloppsslam kan potentiellt ge lägre påverkan
- Viktigt att utnyttja kolkapaciteten maximalt för lägst miljöpåverkan (t.ex. flerstegsfilter, förbehandling)

Ozonering

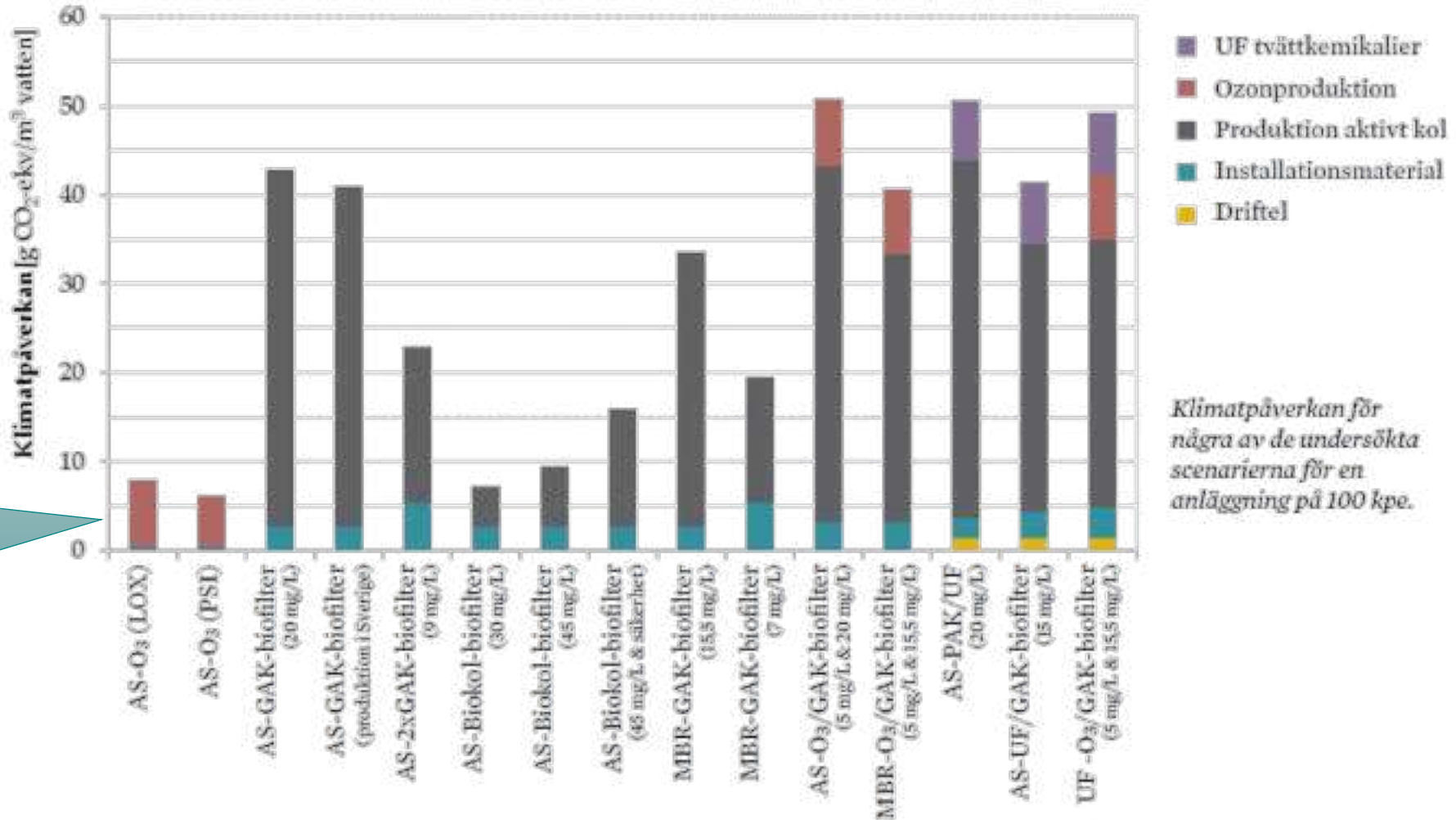
- Hög energianvändning vid ARV och vid LOX-produktion
- Viktig med en anpassat styrning för minimal energiförbrukning
- Risk för toxiska nedbrytnings- och biprodukter

Membranfiltrering

- Hög energianvändning och kemikalieförbrukning vid ARV
- Membrantillverkning



Miljöpåverkan från olika tekniker



OBS! Främst pga. förnyelsebar energi i Norden!



Kostnader för olika reningstekniker

Kostnader för installation & drift för olika reningstekniker är beroende av olika förutsättningar och priser. Kostnader för förstudier, pilottester, planering, ansökningar, tillstånd är vanligtvis inte medräknat.

Generellt

- Dimensioneringsflödet har en stor effekt på totalkostnader och kostnadseffektivitet

Tekniker med aktivt kol

- Kolkostnader är dominerande, regenererat kol kan användas, i framtiden även billigare biokol
- Viktigt att utnyttja kolkapaciteten maximalt för lägst kostnad (t.ex. flerstegsfilter, förrening)

Tekniker med ozonering

- Energikostnaden är dominerande, vid användning av LOX kan denna stå för en hög andel

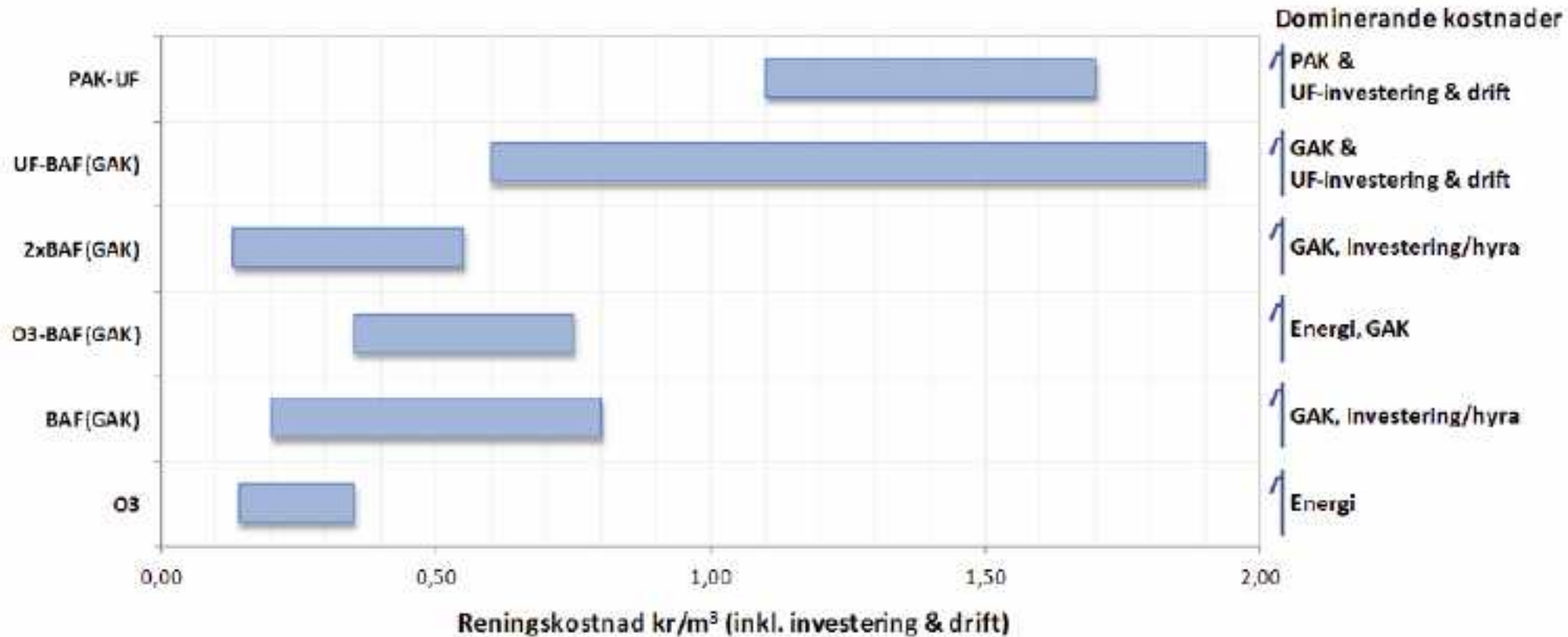
Ultrafiltrering

- Energikostnaden och kemikaliebehov är dominerande
- Membranen i sig utgör också en stor kostnad, dock finns en positiv pristrend



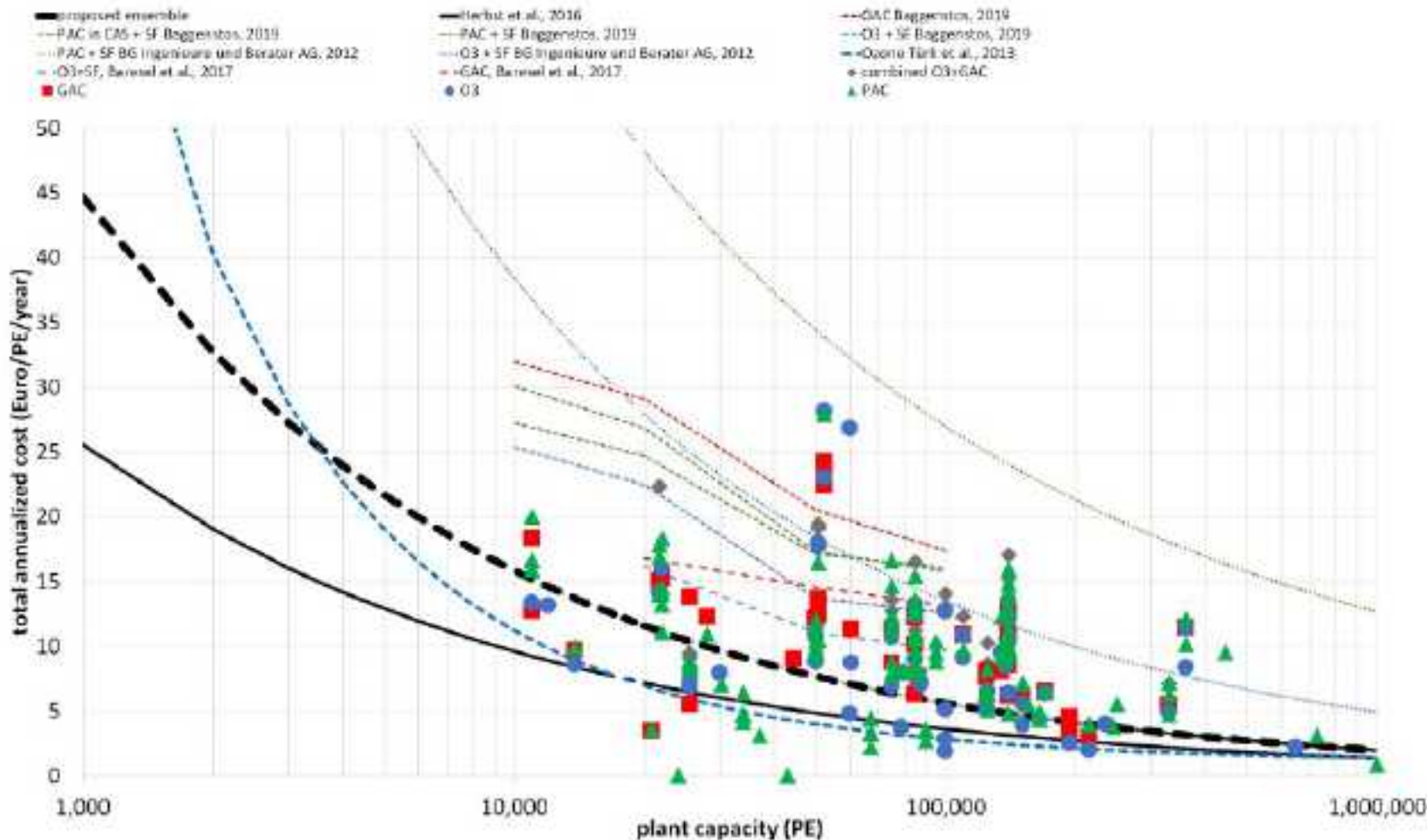
Kostnader för olika reningstekniker CAPEX & OPEX)

- Anläggningsstorlek spelar roll, flödesvariationer och reningsmål
- Marknadspriser för kol, LOX, el också
(oklart utveckling för vissa med avloppsdirektivet och geopolitik läge)





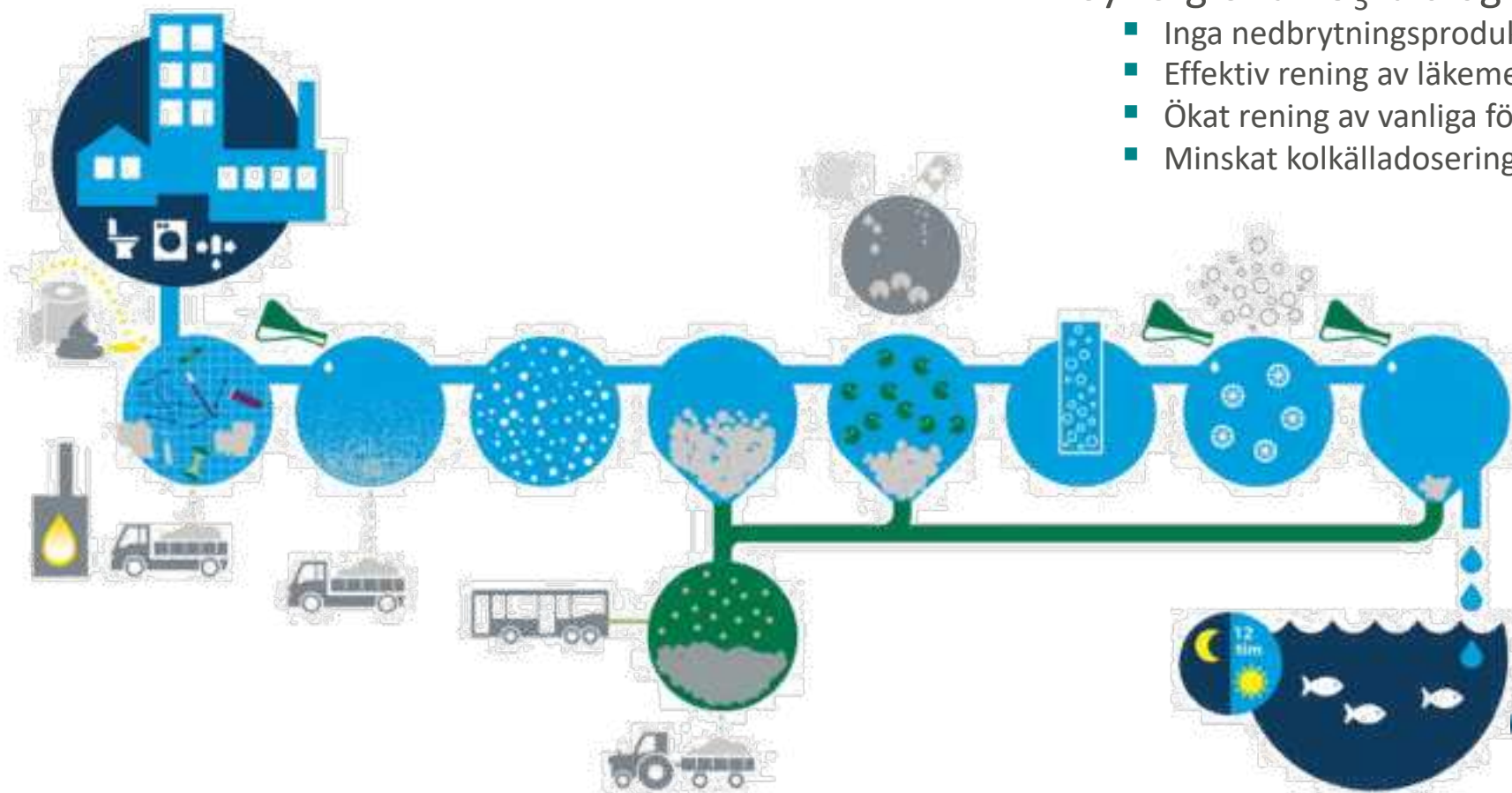
Bedömning kostnader enligt EU Kommissionens konsekvensbedömning



- Priser som EU antar bedöms för optimistiska
- Oklar påverkan av prisutveckling pga. högre efterfrågan (t.ex. GAK och LOX) och "icke-optimerade" lösningar?
- Läkemedelsproducenter bekostar 80 % av reningen, inkl. redan byggda anläggningar (men högst oklart!!!)
- Utredds även för PFAS för framtida revidering av direktivet

TVAB exempel

- Belastningen på vattentäkter Stångån och sjön Roxen (diklofenak, karbamazepin, metoprolol, oxazepam och trimethoprim översteg ekotoxikologiskt NOEC)
- Reglerat recipient vilket medför låg utspädning under långa perioder
- Frivillig politiskt motiverat utbyggnad
- Synergier av O₃-biologi
 - Inga nedbrytningsprodukter
 - Effektiv rening av läkemedelsrester
 - Ökat rening av vanliga föroreningar
 - Minskat kolkälladosering



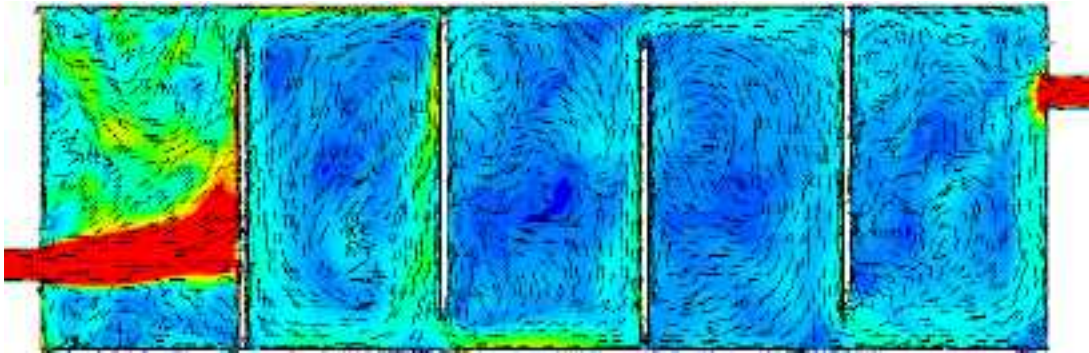
TVAB pilottester

- Kartläggning mikroföroreningar
- Riskbedömning
- Dos-responstester
- Belastningstester
- Styrningstester
- Toxtester
- Simuleringar för ozoninblandning (av TVAB)



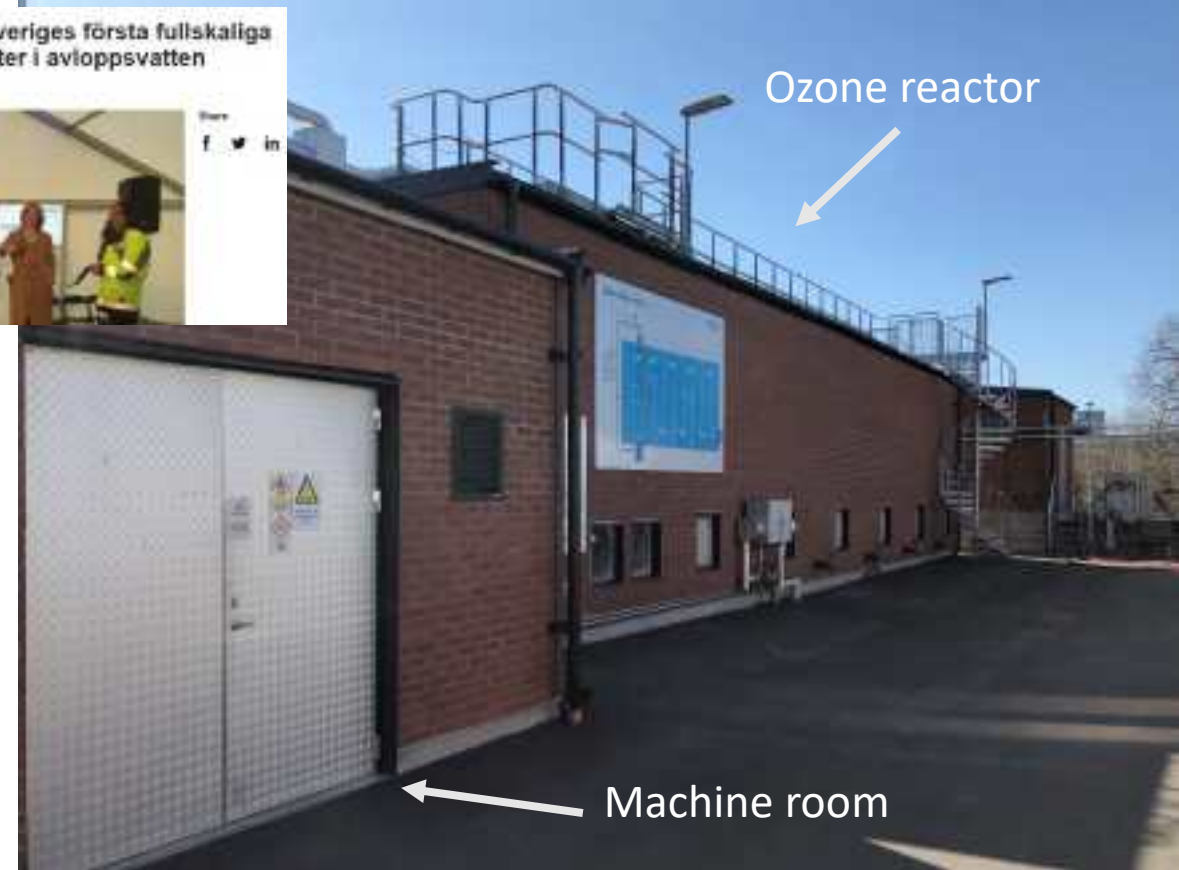
Substance	EC (µg/L)	NOEC (µg/L)	Safety factor	Dilution in recipient	EC/PNEC
Oxazepam	0.30	1.8	1 000	27	0.03
Metoprolol	3.09	1	50	27	0.02
Estrone*	<0.023	0.008	100	27	0.02
Trimetoprim	0.14	0.29	100	27	0.02
Ethinylestradiol*	<0.150	0.00003	10	27	0.02
Estradiol	<0.146	0.0004	10	27	0.02
Propranolol	0.13	0.5	50	27	0.02
Levonorgestrel*	<0.432	0.0008	10	27	0.02
Diclofenac	0.48	0.5	10	27	0.02
Amlodipine	0.09	10	1 000	27	0.02
Carbamazepine	0.57	1	10	27	0.02
Fluoxetine	0.01	0.029	10	27	0.02
Paracetamol	0.26	30	100	27	0.02
Estril*	<0.08	0.075	10	27	0.02
Koffein	11.63	1000	50	27	0.02
Furosemide	0.78	142	100	27	0.02
Naproxen	0.33	32	50	27	0.02
Ciprofloxacin	0.06	1.2	10	27	0.02
Citalopram	0.30	105	100	27	0.02
Ibuprofen	0.28	10	10	27	0.02
Atenolol	2.39	1000	100	27	0.02
Tetracycline	0.05	310	1 000	27	0.02
Sertraline	0.03	9	50	27	0.02

* For ethinylestradiol and Levonorgestrel EC 0.1 µg/L was used. For estradiol EC 1 µg/L. For estrone and estril EC 5 µg/L.



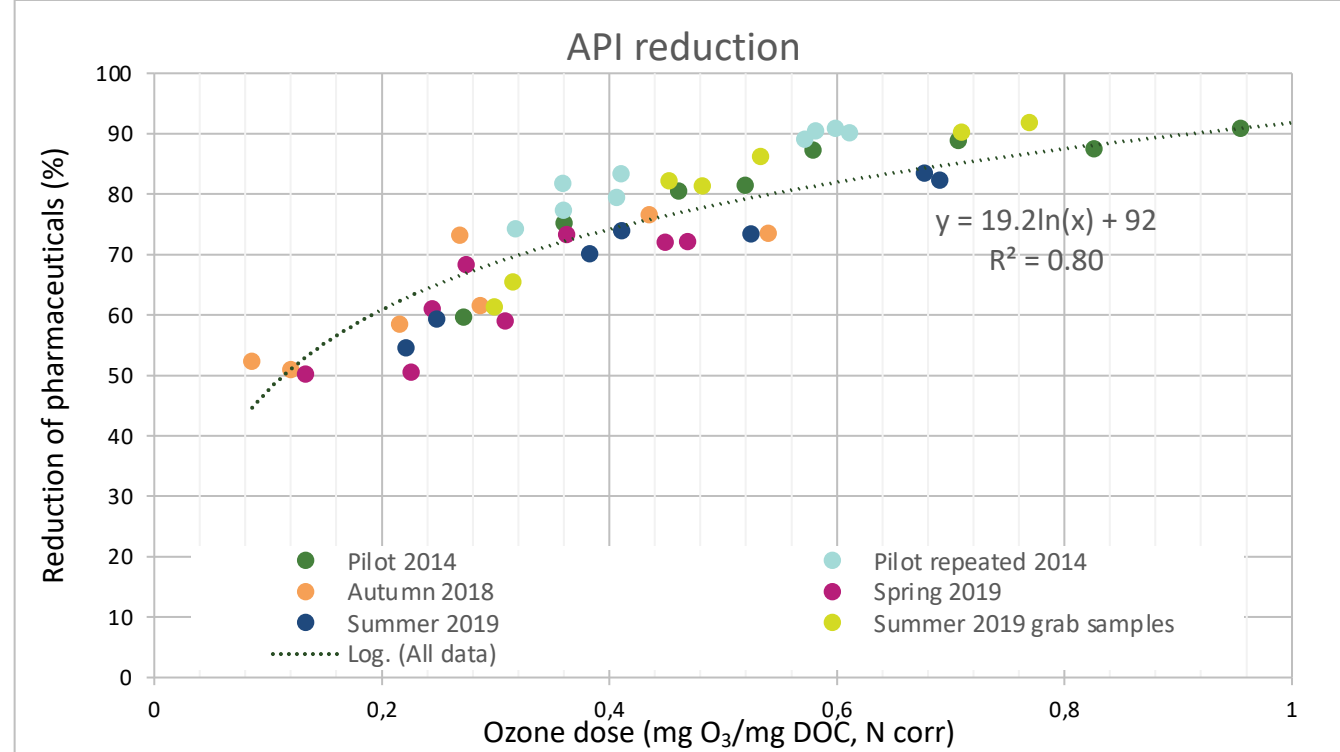
TVAB fullskala

- Första fullskaleanläggningar i Sverige
- Ca 25 MSEK investering
 - Inkl. pilottester och riskbedömning/kartläggning
 - Exkl. Nytt ställverk och inloppspumpar
- Specialiteter/utmaningar:
 - Låg andel ovidkommande vatten
 - by-pass när susphalten > 10 mg/l
 - Problem med avsaknad av effektiv filtrering för den valda tekniska utformningen trots stor "erfaren" leverantör



TVAB- utvärdering

- Bra översvämning av pilotdata/-beräkningar med fullskala
- Kostnadsberäkning baserat på pilotdata bekräftat i fullskala
 - Ca 6 500 kr/dygn
 - 0,15 SEK/m³ enligt pilottester
 - 0,15 SEK/m³ efter flera år fullskaledrift
 - Ca 1/5 för nitritoxidation
 - Kostnad för energi på samma nivå som för LOX (elpris 0,8 SEK/kWh; LOX 1 SEK/kg)
- Bred acceptans och positiv mediabild
- Egen kunskapsuppbyggnad genom pilottester avgörande för en lyckat implementering



Läkemedelsrening Syvab

MBR-2-steps GAK

- Recipientpåverkan för diklofenak och PFOS (EQS)
- Riskkvoter >1 i recipient för Citalopram, Diklofenak, Oxazepam, ~~Ranitidine~~
- ARV > 150 000 pe → krav för avancerad rening enligt nya avloppsdirektivet
- Samarbete och pilottester mellan Syvab och IVL sedan 2011
- Förstudie 2019 i samarbete med Syvab, IVL, Ramboll och Stockholm universitet

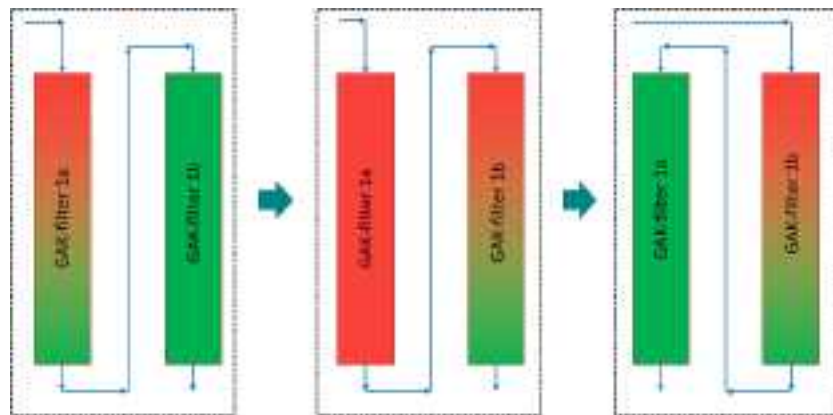


Tabell 9. Sammanställning av riskbedömning och reningsskolor för läkemedel vid Himmerfjärdsverket.

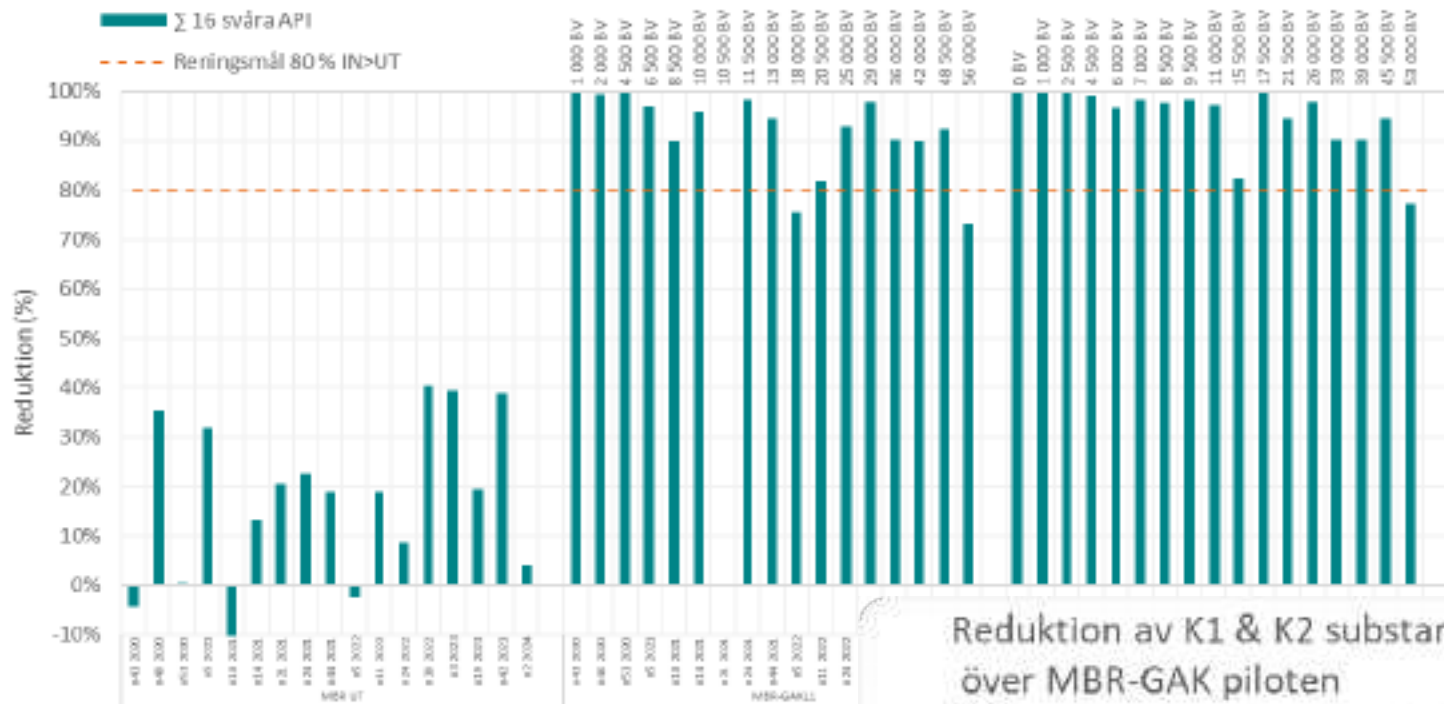
Substans	Medel i H (ng/l)		Rening	PNEC ¹ (ng/L)	Riskkvot (RQ) ²		Reningsgrad (R%) ³	
	IN	UT			Utflöde	Recipient	IN-UT	IN-UT
Hormoner								
Östron (E1)	41,0	8,7	>96%	0,00008	ingen riskvärdering och reningsskolor			
Östradiol (E2)	10,0	1,0	>90%	0,00004	reningsskolor			
Öknyldestradiol (E12)	1,1	0,7	>76%	0,000016	100/100			
Läkemedelrester								
Amoklopin	129	87,7	96%	0,01	1,77	0,09	-	11%
Atanorol	107	430	29%	52	0,06	0,00	-	12%
Etosiprol	98,7	112	-14%	35,8	0,00	0,00	-	10%
Carbamazepam	400	460	-2%	1,3	0,12	0,00	-	10%
Citalopram	109	337	-13%	0,000075	1,400	43	30%	10%
Diclofenac	1033	813	11%	0,06	18,27	0,18	-	70%
Fluoxetine	22,7	26,3	-10%	1,16	0,03	0,00	-	10%
Furosemid	1100	1300	-20%	0,156	6,21	0,06	-	72%
Hydrokortison	1587	1287	2%	1000	0,00	0,00	-	10%
Ibuprofen	7033	104	99%	102	0,00	0,00	-	10%
Ketoprofen	347	103	47%	2	0,09	0,00	-	10%
Meloprofen	1033	1000	-1%	1,59	0,73	0,01	-	11%
Naproxen	7067	360	97%	16	0,00	0,00	-	10%
Oxazepam	1033	2120	-10%	0,01	311	2,31	12%	10%
Paracetamol	10,0	15,0	-50%	46	0,00	0,00	-	10%
Propafenol	116,0	129	-9%	0,128	0,57	0,01	-	10%
Ranitidin	-	-	-	100	-	-	-	-
Ramipril	347	251	28%	0,002	333	1,25	10%	72%
Risperidon	-	-	-	3,8	-	-	-	-
Sertraline	96,0	66,3	28%	0,0090	1,88	0,04	-	10%
Simvastatin	1033	63,7	40%	0,3	0,33	0,00	-	10%
Terbutasin	11,0	11,0	-0%	140	0,00	0,00	-	10%
Wafarin	11,7	7,9	56%	11	0,00	0,00	-	10%
Antibiotika								
Doxycyklin	-	-	-	0,006	-	-	-	-
Ciprofloxacilin	15,0	2,5	83%	0,064	0,04	0,00	-	10%
Clarithromycin	122	103	14%	0,04	1,82	0,03	-	77%
Clindamycin	1,8	11,5	-87%	0,014	0,02	0,01	-	97%
Doxycyklin	-	-	-	0,0160	-	-	-	-
Erytromycin	40,0	43,3	-8%	0,03	1,16	0,03	-	10%
Penicillin	-	-	-	0,3	-	-	-	-
Linezolid	-	-	-	0	-	-	-	-
Metrodiazol	10,7	49,7	-381%	-	-	-	-	10%
Moxifloxacin	-	-	-	0,125	-	-	-	-
Norfloxacin	-	-	-	0,022	-	-	-	-
Rifampicin	76,8	43,0	43%	0,061	0,66	0,01	-	62%
Sulfamethoxazol	360	40,5	91%	0,118	0,34	0,00	-	10%
Tetracycline	738	80,8	91%	0,402	0,37	0,00	-	10%
Trimetoprim	5,3	18,8	-330%	0,3	0,04	0,00	-	10%
¹ - uppdatat 2019 från analysat ² - utan utspädning i utflödet och med reningsskolor på 100 i utflödet ³ - Reningstid på 80% eller krav på reduktion i utflödet i utflödet								

MBR-GAG-pilot

- Samma membrankassetter som i fullskala
- 2 linjer med 2-steps GAK-filter med 2 m filterbädd
- Hög ytbelastning (<12 m/h) → kompakt
- Två bakspolningsstrategier (konventionell & IVL)
- Låga halter av vanliga föroreningar och inget susp → mindre igensättningsrisk pga. partiklar och tillväxt av biofilm
- Höga syrehalter och organisk material (läkemedel) ger ändå förutsättningar för etablering av biofilm specialiserat på läkemedel → insitu reaktivering

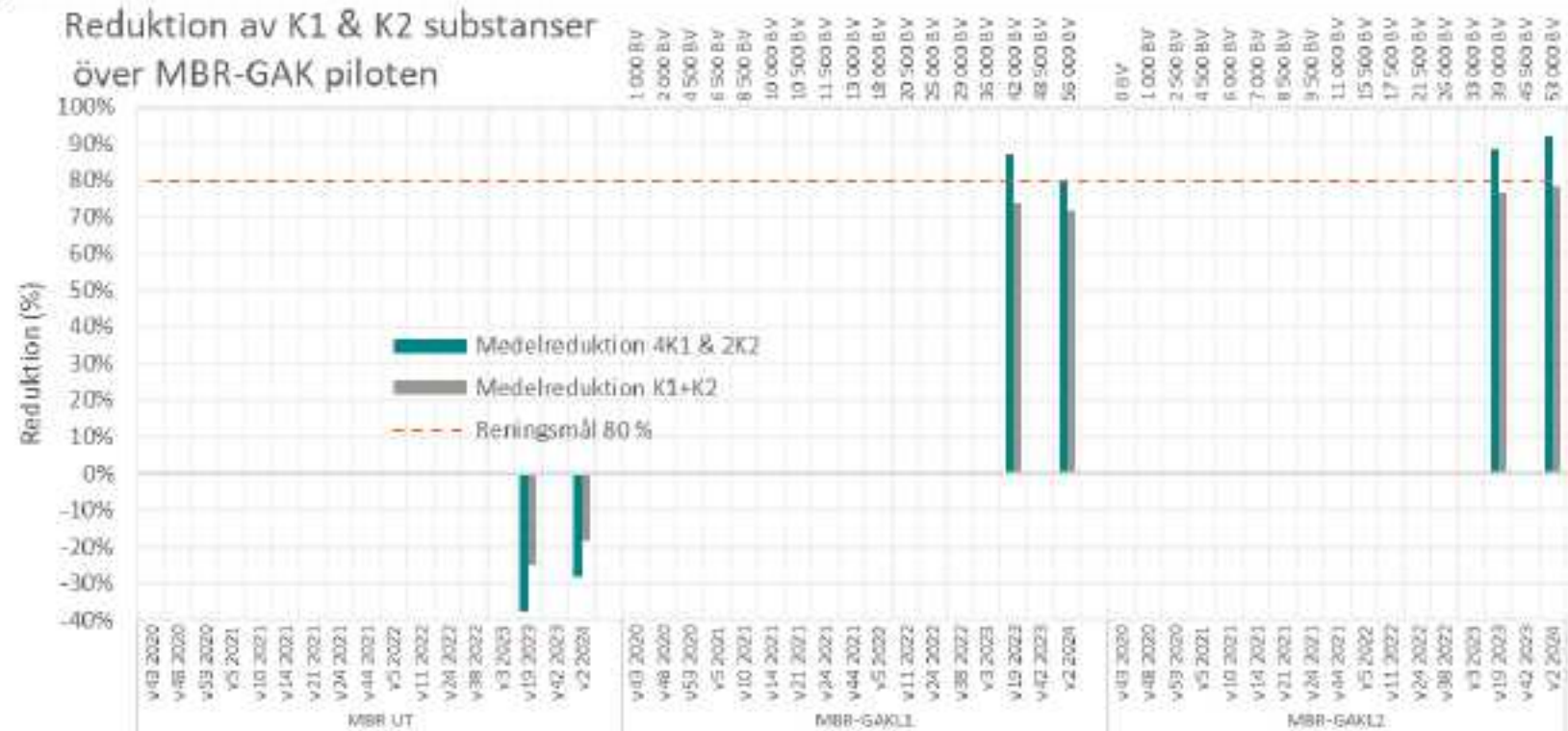


Läkemedelsreduktion MBR-GAK pilot



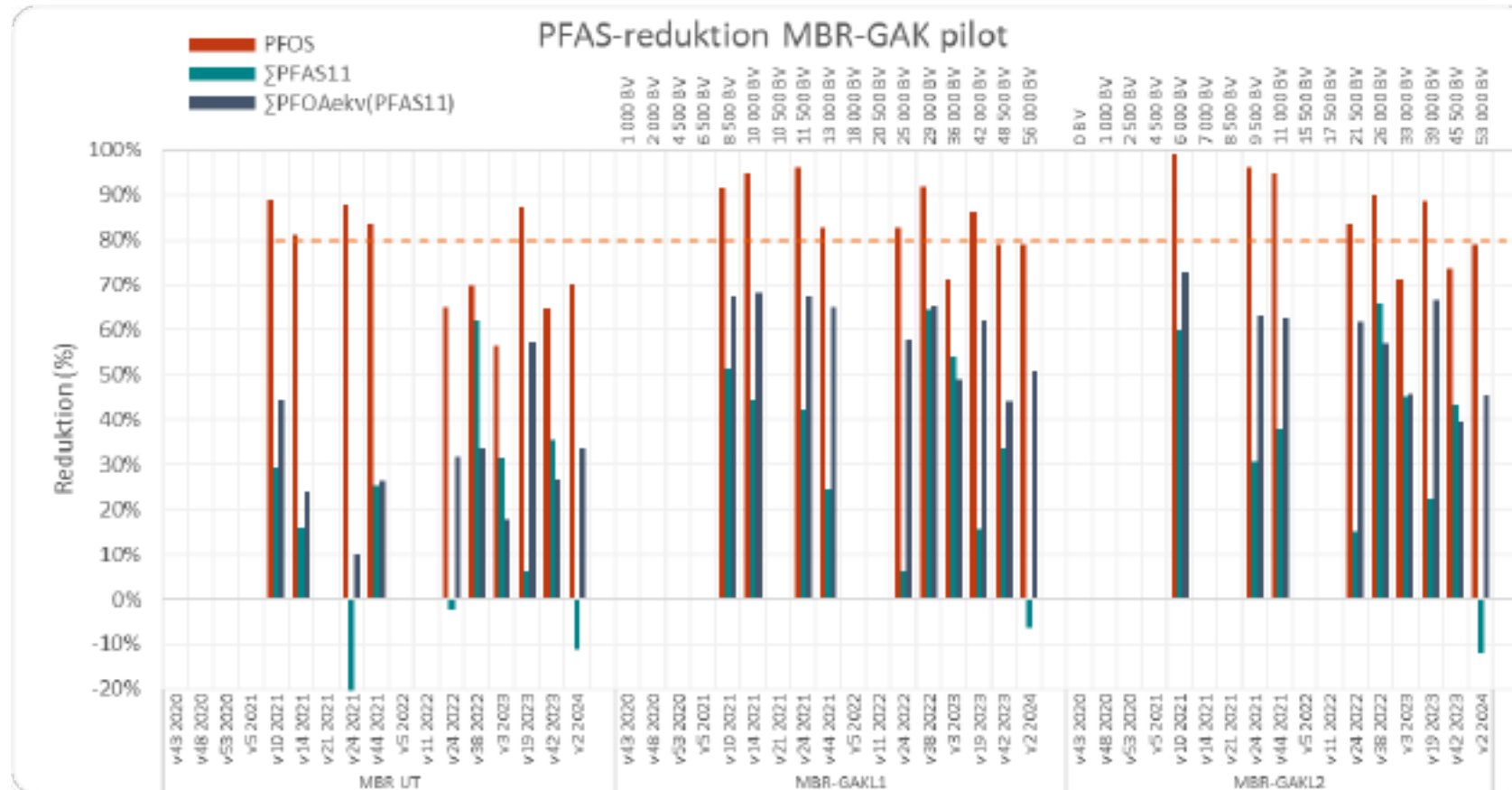
- Operation continuously since oct 2020 with only short break
- Dynamic load linked to WWTP-inflow
- Bed volumes treated currently ca 100 000 per filter without replacement
(corresponds to ca 5 g GAK/m³; traditionell design > 25 g GAK/m³)

Reduktion av K1 & K2 substanser över MBR-GAK piloten



PFAS rening på köpet

- PFOS reduktion med > 80% även efter 100 000 BV per filter
- Σ PFOSAkv reduceras med ca 50 %
- IVL backspolsstyrning minskat backspolsflöde till < 1,2 % (standard design 6 %, kontinuerliga filter ligger på 10-12 %) → mindre downtime & mindre internbelastning!



Läkemedelsrening Syvab

MBR-2-steps GAK

- Baserat på Ramboll kostnadsberäkning
 - $Q_{dim,AR} = 6\ 600\ m^3/h$
 - Investering (CAPEX): 433 MSEK
 - Driftkostnad (OPEX): 45 MSEK/år
 - Total årskostnad: 90 MSEK/år
 - Specifik kostnad 1,5 SEK/m³
- Baserat på optimerat processdesign & pilottester:
 - Investering 433 MSEK
 - Driftkostnad: <10 MSEK/år
 - Total årskostnad: <55 MSEK/år
 - Specifik kostnad <0,9 SEK/m³



MEN: Simultan PAK-MBR pilottester med Syvab indikerar
CAPEX 5 MSEK & OPEX 20 MSEK/år → **0,35 SEK/m³**

Stengården ARV Simrishamn

- Flöde: 2 250 000 m³/år
- Bra utspädning i Hanöbukten, endast risk för Citalopram, Diklofenak och Oxazepam
- MEN: mål att återanvända vatten pga. Vattenbrist under sommartid



Stengården WWTP

Effluent pipe



Stengården ARV Simrishamn

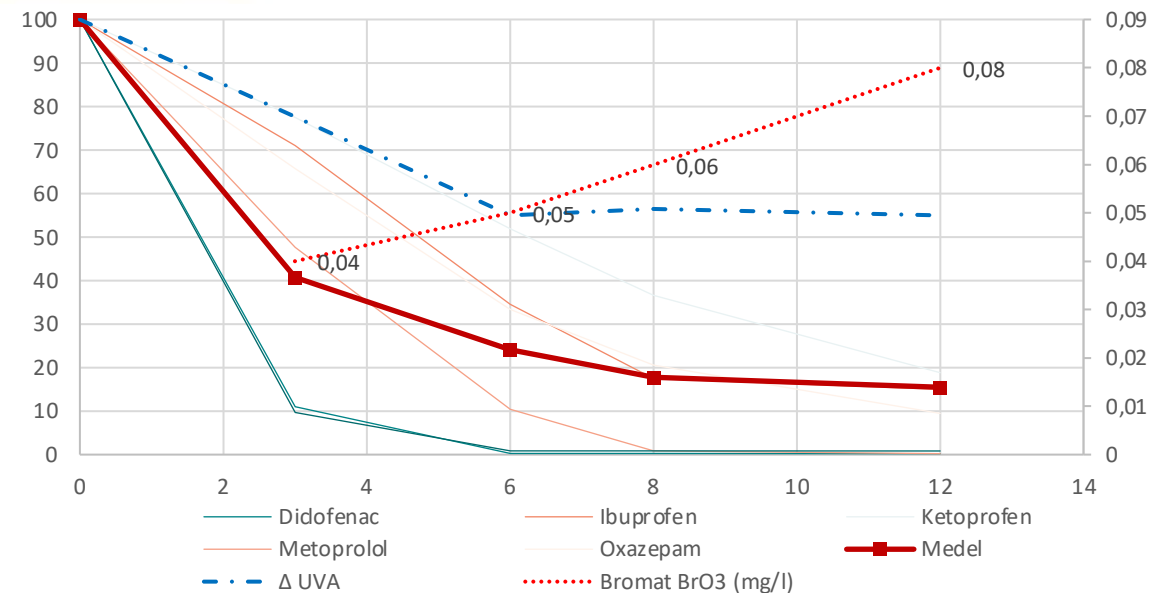
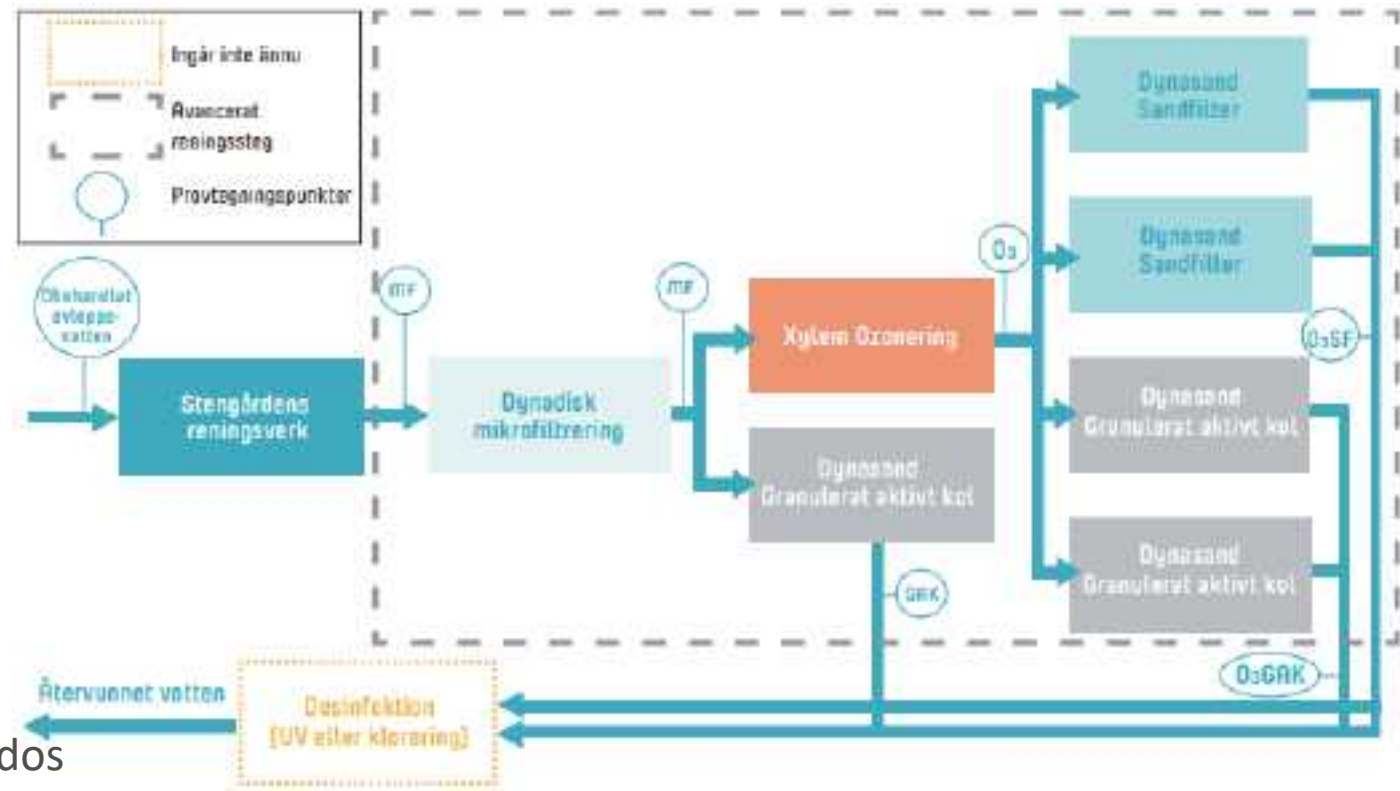
3 x fullskalelinjer som jämförelse

- GAK
- O3-GAK
- O3-Sandfilter

Resultat

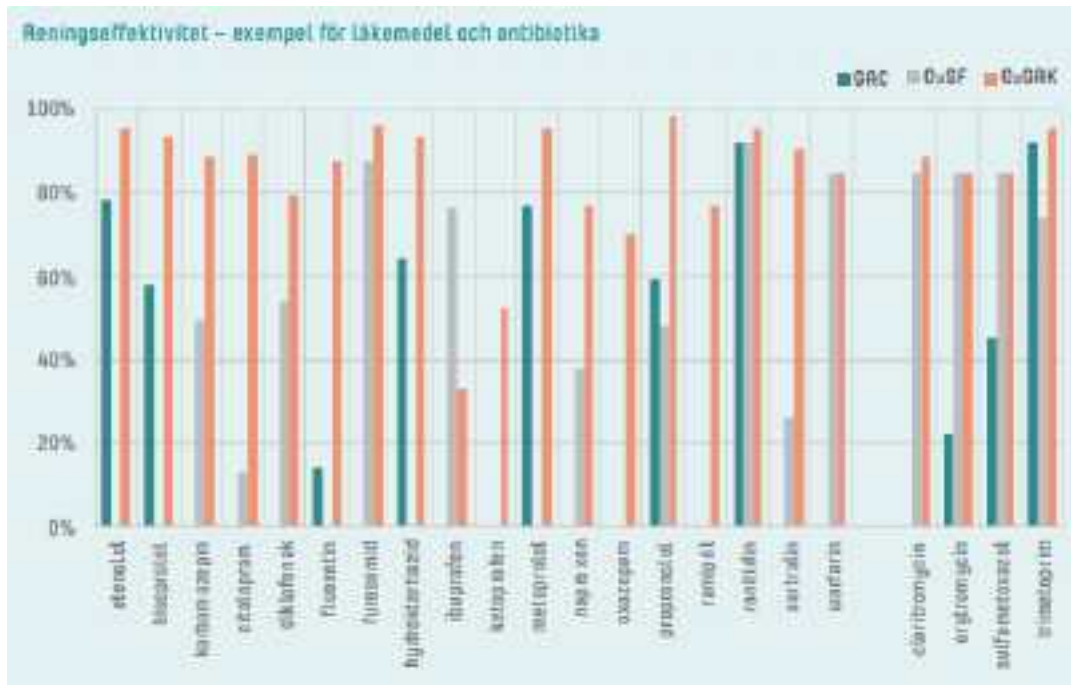
- O3-GAK bäst reningsresultat
- Tydlig bildning av bromat med ökande ozondos
- Bromat renat bort i efterföljande GAK
- UVA och DOC visade sig svåra att använda för styrning
- Ozondoser > 1,2 mg/mg DOC krävs för desinfektion

PGA fel materialval behövde GAK-filter byggas om ;-(



Stengården ARV Simrishamn

- Driftstart 2019
- Medel ozondos 4 mg/l
- Investeringskostnader: 0.46 SEK/m³
- Driftskostnader (förutom energi): 0.21 SEK/m³
- Energikostnad (0,68 SEK/kWh) 0.19 SEK/m³
- **Totala kostnader: 0.86 SEK/m³**



1. Dynadisc mikrofiltrering 2. Ozonozonering 3. Dynasand sandfilter 4. Dynasand granulerat aktivt kol 5. Under byggnationen av det extra reningsteget

Cost aspects

- In store 21:90 SEK for 33 cl
- Estimated water production price in full-scale:
 - From raw sewage to reuse (beer) quality:
<0.005 SEK/bottle
correspond to 0.25 % of the price for 1 bottle
 - From treated sewage to reuse (beer) quality:
<0.002 SEK/bottle
correspond to <0.1 % of the price for 1 bottle



Sök dryck, land, varunummer, druva...

ÖL, LINS LAGER, PILSNER - FYSK, STIL

Nya Carnegiebryggeriet Nr 33088 **21:90**
Purost
Tillverkad i Sverige, Stockholms län, Stockholms stad
Pilsner - tysk stil lite torrare än fjedisk pilsner

Maltig smak med inslag av ljus bröd, citrus och färska örter. Serveras vid 8-10°C som sällsapsdryck eller till rätter av fisk eller skaldjur.

BECKA FÄRRENYTT SETMA FISK SKALDjur SÄLLSAPSDRYCK

Lokalt och småskaligt producerad dryck
Drycken är producerad i liten skala på ett hantverksbaserigt stek och finns i butikerna närmast producenten. Drycken går inte att beställa till övriga butiker.

Säljstart: 2018-07-02
Alkoholhalt: 4,8 %
Färg: Gul färg
Doft: Maltig doft med inslag av ljus bröd, citrus och färsk örter
Ränsor: Pilsnermalt och färris är sorten spöbet
Producent: Nya Carnegiebryggeriet
Leverantör: Brooklyn Stockholm OpCo AB
Kil - jämförelse: 66,36

Välj flask för matris VÄLJ RUTIC

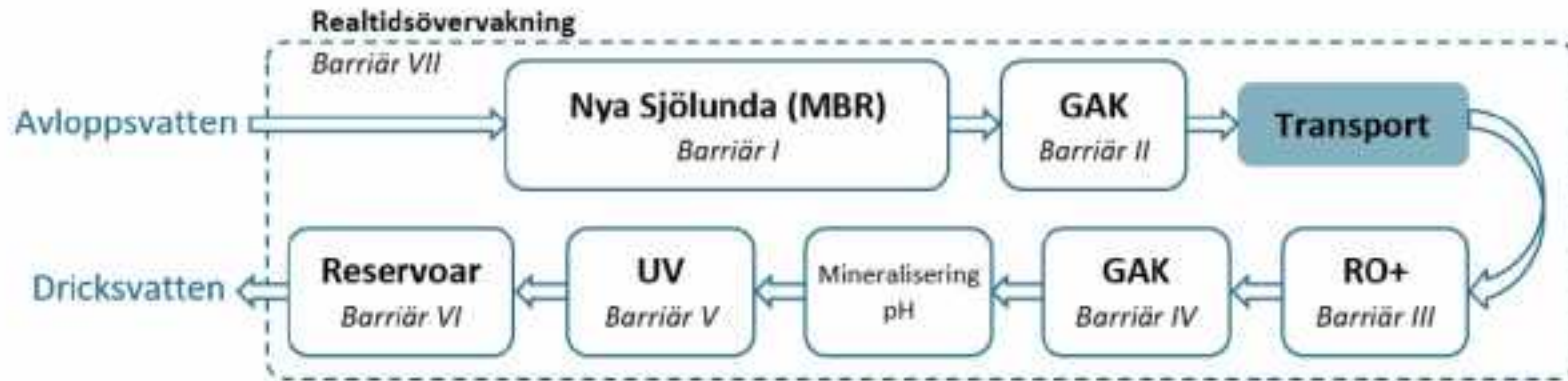
Vilka butiker har drycken?
Går drycken att beställa?

LÄGG I VINKORVET
LÄGG TILL I EN LISTA

@ivl
Swedish Environmental
Research Institute

Tänk helhet!

- Renat vatten är en resurs
- Behov för rening och en cirkulär hantering bara ökar
- Tänk tanken med integrerade system
- Vad finns för kostnadstäckningsalternativ?
- Exempel Sydvatten/VASyd (IVL & Sweco)
- Kombination vattenbesparing, -återanvändning och avancerad rening





Kontakt:
christian.baresel@ivl.se
0046-10-788 66 06

Takk!