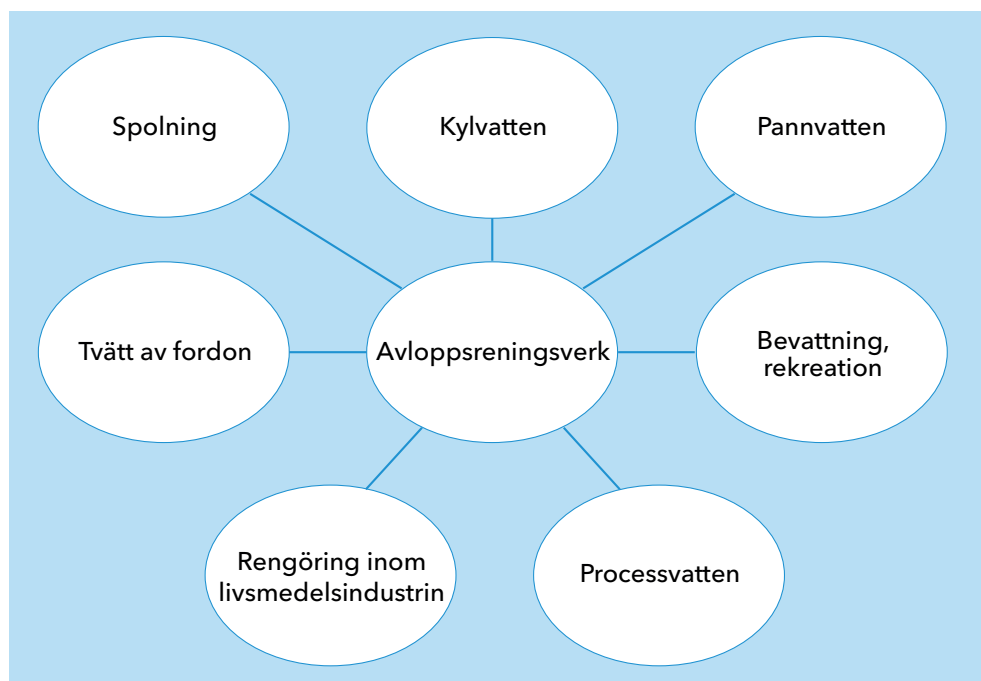


Återvunnet avloppsvatten för industriell användning och bevattning

Kerstin Hoyer



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Återvunnet avloppsvatten för industriell användning och bevattning
Title of the report:	Reclaimed municipal wastewater in industrial symbiosis and irrigation
Författare:	Kerstin Hoyer, VA SYD
Rapportnummer:	2019-21
Antal sidor:	48
Sammandrag:	Vilken kvalitet behöver renat avloppsvatten ha för att kunna återanvändas i industrier och jordbruk? Behöver vattnet skräddarsys, eller skulle VA-huvudmännen kunna erbjuda en grundkvalitet som passar många? Rapporten visar att stora vattenmängder används för ändamål som kräver liknande vattenkvalitet. Det ger möjligheter för avloppsreningsverken att kunna erbjuda en grundkvalitet för industriell användning och bevattning.
Abstract:	Does reclaimed water for industrial use need to be specialized or could wastewater utilities provide a water quality that fits many needs? This report shows that the needs in industry are general. Large quantities of water are used for the same applications which require similar water quality. This opens up an opportunity for wastewater treatment plants to provide a basic water quality for industrial use and irrigation.
Sökord:	Återvunnet vatten, symbios, industri, bevattning, tekniskt vatten, avloppsvatten
Keywords:	Reclaimed water, water reuse, symbiosis, industry, irrigation, wastewater
Målgrupper:	VA-sektorn
Omslagsbild:	Vattenbehoven i industrin.
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svenskvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	18-127
Projektets namn:	Återanvändning av renat avloppsvatten i industriell symbios
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

I detta projekt har ingått ett examensarbete (Greta Bürger: Reuse of Treated Wastewater in Industrial Symbiosis, Lunds Tekniska Högskola, examensarbete 2019-3). Delar av resultaten är tagna ur examensarbetet och har kompletterats vid behov.

Studien är ett samarbete mellan följande VA-organisationer: Gryaab, Hässleholm Vatten, Laholmbuktens VA, Kalmar Vatten, Luleå Kommun, NSVA, Region Gotland och VA SYD. För att knyta projektet till industri och jordbruk har avfallsbolaget Sysav samt Lantbrukarnas Riksförbund deltagit i en referensgrupp.

Projektet har finansierats av Svenskt Vatten Utveckling och de ingående VA-organisationerna.

Kerstin Hoyer

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	6
Summary.....	7
Förkortningar	8
1 Inledning.....	9
1.1 Syfte.....	10
1.2 Metod.....	10
2 Internationella erfarenheter	11
2.1 Tyskland	11
2.2 Nederländerna.....	12
2.3 Belgien.....	12
2.4 Frankrike	12
2.5 Israel	13
2.6 Danmark	13
2.7 Namibia.....	13
2.8 Singapore	14
2.9 Sverige	14
3 Tekniker för avanceradrening av avloppsvatten.....	16
3.1 Granulerat aktivt kol (GAK).....	16
3.2 Pulveriserat aktivt kol (PAK)	17
3.3 Membran	18
3.4 Avancerade oxidationsprocesser (AOP).....	20
3.5 Ultraviolettt ljus (UV).....	21
4 Användning av renatavloppsvatten i industrin	23
4.1 Kartläggning av industriell användning.....	23
4.2 Kvalitetskrav.....	24
5 Bevattning med renat avloppsvatten i jordbruk.....	28
6 Implementering av återvinning av renat avloppsvatten i kommunala avloppsreningsverk.....	30
6.1 Utgående vattenkvalitet från avloppsreningsverk.....	30
6.2 Förslag på reningstekniker för återvinning av avloppsvatten	30
7 Legala aspekter.....	33
8 Kostnader.....	35
9 Slutsatser.....	37
10 Referenser.....	38

Sammanfattning

Vilken kvalitet behöver renat avloppsvatten ha för att kunna återanvändas i industrier och jordbruk? Behöver vattnet skräddarsys, eller skulle VA-huvudmännen kunna erbjuda en grundkvalitet som passar många? Rapporten visar att stora vattenmängder används för ändamål som kräver liknande vattenkvalitet. Det ger möjligheter för avloppsreningsverken att kunna erbjuda en grundkvalitet för industriell användning och bevattning.

Rapporten ska hjälpa VA-organisationer att få överblick över vattenbehovet i industri och jordbruk för att se den potential som finns att ersätta dricksvatten med återvunnet vatten. Vatten är avloppsreningsverkens största resurs, men den tillvaratas inte i dag utan släpps efter rening ut i naturen. Samtidigt används dricksvatten av hög kvalitet för tillämpningar som inte kräver så hög kvalitet. Vattentillgången i Sverige är dessutom begränsad i vissa regioner som periodvis har låga grundvattennivåer och i värsta fall vattenbrist. Återvinning av avloppsvatten kan spela en nyckelroll för att lösa problemen med sådan vattenstress.

Stora mängder dricksvatten används bland annat i industrin och hos kommuner. Studien har kartlagt användningsområden och vattenkvalitetskrav för olika industritillämpningar och för bevattning. Åtta svenska VA-organisationer har samarbetat i projektet. Intervjuer har genomförts med 38 industrier och andra stora vattenanvändare för att kartlägga vattenbehoven. Intresset att diskutera återanvändning av vatten har varit stort.

Studien visar att en övervägande andel av vattnet hos de tillfrågade industrierna används för liknande tillämpningar och därför inte behöver skräddarsys för återanvändning. Det handlar om sådant som spolning av bilar, gator och ledningar, kylning, bevattning, rekreation och pannvatten. Det finns också potential att minska användningen av dricksvatten i avloppsreningsverken genom att använda återvunnet vatten för spolning, backspolning av filter och i polymerberedningen.

För bevattning och industriell användning av avloppsvatten krävs det framför allt ett partikelfritt vatten med låg halt av suspenderat material. Vattnet behöver också vara bakteriefritt för att inte utgöra en smittorisk. Svenska avloppsreningsverk kräver därför normalt ett poleringssteg för att kunna tillhandahålla rätt kvalitet på det utgående vattnet. Poleringssteget kan innehålla filtermetoder som aktivt kol (granulerat eller pulveriserat), mikrofiltrering eller ultrafiltrering för att avlägsna partiklar och suspenderat material – efterföljt av desinfektion med ozon, UV-ljus eller klorering. Rening för återanvändning av avloppsvatten bör alltså bestå av en serie reningssteg. I takt med att avancerad rening för läkemedelsrester och andra mikroföreningar installeras på reningsverken ökar kvaliteten på vattnet som lämnar reningsverken och därmed möjligheten att återvinna vattnet för industriell användning eller bevattning.

Summary

Which quality does reclaimed wastewater need to have for the use in industry and agriculture? Does the water need to be tailor-made or could water and wastewater utilities provide one basic quality that fits many purposes? The report shows that large amounts of water are used in applications which require similar water qualities. This opens up for wastewater treatment plants to provide one quality of reclaimed water for industry and agriculture.

The aim of the report is to help water and wastewater utilities to gain an overview over the need for water in industry and agriculture in order to see the potential to replace drinking water with reclaimed wastewater. Water is the greatest resource in wastewater treatment plants, but it is today not utilized but is led into nature after treatment. At the same time, drinking water of high quality is used in applications which do not require as high quality. Furthermore, access to water is limited in regions in Sweden which in periods have low groundwater levels and in the worst case water shortages. Reclamation of wastewater can play a key role to solve problems with such water stress.

Large amounts of water are used in industry and by municipalities. The study has mapped applications and water quality requirements for different industrial applications and for irrigation. Eight Swedish water and wastewater utilities have cooperated in the project. Interviews were held with 38 industries and other consumers of large amounts of water in order to map the needs for water. The interest to discuss water reuse has been significant.

The study shows that a significant part of the water used by the interviewed industries is used for similar applications and therefore doesn't need to be tailor-made for each application. Water is used for flushing of cars, streets and pipes, cooling, irrigation, recreation and boiler water. There is also potential to reduce the use of drinking water in wastewater treatment plants by using reclaimed water for flushing, back flushing of filters and for the preparation of polymer solution.

For irrigation and industrial use of reclaimed wastewater, the water needs to be free of particles and with a low concentration of suspended solids. The water also needs to be free of harmful bacteria in order not to pose a health risk at contact. The effluent of Swedish wastewater treatment plants usually requires a polishing step to reach the right water quality. This can include filter methods, activated carbon (granulated or pulverized), micro-filtration or ultra-filtration to remove particles and suspended material, followed by disinfection by ozone, UV or chlorination. Water treatment for reuse of wastewater thus often contains several treatment steps for polishing. When advanced treatment for removal of medical residues and other micro pollutants is installed in the wastewater treatment plants, the quality of the treated water is improved and thereby the potential to produce reclaimed water for industry and irrigation increases.

Förkortningar

AOP	Avancerade oxidationsprocesser
ARV	Avloppsreningsverk
BAK	Biologiskt aktivt kol
BOD	Biological oxygen demand, biologisk syreförbrukning
COD	Chemical oxygen demand, kemisk syreförbrukning
DOC	Dissolved organic carbon, löst organiskt kol
GAK	Granulerat aktivt kol
MBR	Membranbioreaktor
MF	Mikrofiltrering
NF	Nanofiltrering
PAK	Pulveriserat aktivt kol
PE	Personekvivalenter
RO	Reverse osmosis, omvänd osmos
SS	Suspended solids, suspenderade fasta ämnen
TDS	Total dissolved solids, totalt lösta fasta ämnen
TOC	Total organic carbon, totalt organiskt kol
TSS	Total suspended solids, totalt suspenderade fasta ämnen
UF	Ultrafiltrering
UV-ljus	Ultraviolett ljus

1 Inledning

Vårt VA-system är konventionellt uppbyggt för att rena avloppsvatten för att minska smittspridning i samhällen och för att skydda vattendrag mot övergödning och ackumulering av ämnen som inte hör hemma i naturen. I andra änden renas yt- och grundvatten till dricksvattenkvalitet enligt Livsmedelsverkets föreskrifter. Detta vatten används till ett brett spektrum av tillämpningar. Förutom som dricksvatten används det för bevattning, tvätt, spolning av toaletter och mycket mer. Både privatpersoner och industri använder därför stora mängder vatten av dricksvattenkvalitet trots att man i en del tillämpningar hade kunnat använda vatten med en lägre renhetsgrad. Rening av vatten konsumerar energi, kemikalier och andra resurser som skulle kunna sparas in om man istället använde vatten med en lägre men tillräcklig renhetsgrad. Samtidigt släpps renat avloppsvatten ut i våra vattendrag och därmed går vi miste om en värdefull resurs. Eftersom VA-huvudmän främst arbetar med att minimera de negativa konsekvenserna utsläppen har på recipienterna, saknas arbete med att ta vara på den resurs renat avloppsvatten utgör. Dessutom ser vi allt oftare även i Sverige att regioner under vissa perioder lider av en ansträngd situation med vattenbrist eller risk för sådan. Återvinning av avloppsvatten kan spela en nyckelroll för att kunna lösa problematiken med sådan vattenstress för att kunna säkra vattenförsörjningen till konsumenter samt olika sektorer som använder stora mängder vatten, t.ex. jordbruk och industri. Återvinning av vatten bör även vara ett naturligt steg i det moderna hållbara samhället där en cirkulär ekonomi och ett kretsloppstänk blir allt viktigare.

Återanvändning av renat avloppsvatten har utretts och implementerats av olika aktörer runt om i världen (för exempel se Casey och Tisdale, 2017, Dalahmeh och Baresel, 2015, Rothenberger, 2010, Sidan et al., 2016, Wintgens och Hochstrat, 2017 och Yi et al., 2011). Senast gjorde IVL en större undersökning kring olika teknikval för tillämpningar i industri, jordbruk samt grundvattenåterföring (Baresel et al., 2015). Dessa studier visar att det tekniskt är fullt möjligt att använda renat avloppsvatten och i många länder är återanvändning av renat avloppsvatten redan implementerat (Casey och Tisdale, 2017, Dalahmeh och Baresel, 2015, DOW Magazine, 2011, Rothenberger, 2010 och Yi et al., 2011). För att kunna implementera reningen i befintliga avloppsreningsverk i Sverige behövs dock mer konkreta lokala studier som även tar hänsyn till de specifika möjligheterna för industriell symbios som finns för att hitta affärskoncept som fungerar i praktiken för både VA-organisationerna och industrin. På VA SYD har möjligheter för industriell symbios kring återvunnet avloppsvatten undersökts för de största avloppsreningsverken (Persmark, 2018). Här har man utgått från vattenanvändare i anslutning eller närheten av reningsverken för att förenkla vattendistributionen. I Kalmar undersöktes nyligen lokala möjligheter att använda återvunnet vatten inom industri, kommun och jordbruk (Kalmar Vatten, 2019). Detta projekt är ett samarbete mellan olika kommunala VA-organisationer för att få en mer gene-

rell bild av potentialen för att ersätta dricksvatten med återvunnet avloppsvatten i industriell användning samt för bevattning inom jordbruket.

1.1 Syfte

Syftet med detta projekt var att

1. identifiera intresset för återvunnet avloppsvatten hos olika aktörer runt de deltagande avloppsreningsverken,
2. göra en kartläggning av de vanligaste användningsområdena för vatten hos storförbrukare,
3. göra en sammanställning av tillgänglig teknik för att uppnå tillräcklig vattenkvalitet för de tillämpningar som har identifierats och
4. ge en kostnadsuppskattning för rening och distribution av avloppsvatten till önskad kvalitet.

Projektet har vidare syftat till att ge en överblick över erfarenheter av användning av återvunnet avloppsvatten internationellt samt en överblick över legala aspekter i frågan.

1.2 Metod

En sammanställning gjordes över potentiella användningsområden för återvunnet avloppsvatten i industrin och hos andra aktörer som använder stora mängder dricksvatten. Datainsamlingen gjordes i form av intervjuer med industrier, mm som ligger i nära anslutning till de deltagande reningsverken från de åtta VA-verksamheter som deltog i projektet. Ingen konkret gräns sattes för vattenförbrukningen utan varje VA-verksamhet bedömde själva vilket urval av intressenter man ville göra utifrån att dessa skulle utgöra potentiella användare för återvunnet avloppsvatten. De insamlade svaren från potentiella användare kategoriserades i användningsområden för att ge en generell bild av möjliga användningsområden som är intressanta för industrin och andra vattenförbrukande aktörer. För användningen av återvunnet avloppsvatten för bevattning inom jordbruket gjordes ingen behovsanalys på samma sätt som för industrin eftersom användningsområdet redan stod klart.

Möjliga reningstekniker diskuterades utifrån rening av vatten med kvaliteten som är vanlig för utgående avloppsvatten i svenska avloppsreningsverk till den kvalitet som krävs för de olika användningsområdena som identifierades i föregående steg. För dessa gjordes även en uppskattning av kostnaden för de olika teknikerna utifrån information i litteraturen.

Internationella erfarenheter, främst med fokus på Europa, samlades genom sökning i litteraturen. En generell överblick över legala aspekter att beakta för reningsverk som levererar återvunnet avloppsvatten till industrin och andra vattenförbrukande aktörer gjordes med hjälp av litteraturstudier.

2 Internationella erfarenheter

Renat avloppsvatten återvinns redan idag på många håll i Europa och resten av världen. I Europa är det framför allt till bevattning inom jordbruk och i vissa fall golfplatser eller parker som är av intresse. Vissa länder lider av vattenbrist, medan andra generellt har god tillgång till vatten men där lokal vattenbrist utgör motivationen bakom återvinningen av avloppsvatten. Det kan även handla om miljörelaterade motiv och en önskan om en mer cirkulär resurshushållning. Nedan beskrivs några projekt som pågår. Här ligger fokus på europeiska initiativ men även de mest kända exemplen globalt nämns. Sammanställningen är inte på något sätt komplett utan syftar främst till att ge några exempel.

Det är svårt att ge en exakt definition av återvinning av renat avloppsvatten. Det är vanligt att återinfiltrera renat avloppsvatten för att fylla på grundvattenreservoarer. Det finns även exempel på att använda återvunnet avloppsvatten för att fylla på vattendrag som utgör ytvattentäkter för dricksvattenförsörjning. Detta kan göras medvetet i vattendrag som annars skulle ge för lite vatten, men görs framför allt omedvetet på många håll i världen där recipienten för ett reningsverk är densamma som vattenkällan för ett vattenverk längre nedströms. Detta är inte ovanligt även i Sverige i t.ex. Mälaren och Göta Älv. Eftersom det är svårt att definiera exakt vad som är ett projekt för återvinning av renat avloppsvatten i dessa sammanhang ligger fokus i sammanställningen nedan på tydliga exempel på medvetna projekt.

2.1 Tyskland

I Braunschweig används renat kommunalt avloppsvatten för bevattning av grödor som majs, vete, sockerbetor och råg (Maaß och Grundmann, 2018). Dessa används sedan som livsmedel eller rötas till biogas. Grödorna gödglas med avloppsslam som blandas i bevattningsvattnet. Under vintern lagras slammet för att blandas i vattnet under sommarhalvåret.

I Nordenham i norra Tyskland har man inom ramen för projektet Multi ReUse bedrivit en pilotanläggning för att rena avloppsvatten från det kommunala avloppsreningsverket för industriell användning. I området används en stor del av dricksvattnet industriellt som kyl- och spolvatten och till andra industriella processer. Industrin använder även en del vatten ur floden Weser, som dock inte är optimalt för alla tillämpningar på grund av den höga salthalten i vattnet. För att kunna erbjuda vatten med högre kvalitet och för att skydda dricksvattenkällorna har man därför börjat titta på möjligheten att använda återvunnet avloppsvatten i industrin. I pilotanläggningen testas framför allt olika membrantekniker i kombination med aktivt kol och UV-desinfektion. I anläggningen finns möjlighet att rena vattnet med UF och UV, UF, aktiv kol och UV eller UF, RO och UV till olika vattenkvaliteter (MultiReUse, 2019a och 2019b).

2.2 Nederländerna

Då stora ytor i Nederländerna ligger under havsnivån är risken för saltvattenintrång i grundvattnet stor. Man har därför fyllt på grundvattenreservoarer med hjälp av infiltration av avloppsvatten i över 100 år.¹

I Terneuzen står Nederländernas största installation för återanvändning av renat avloppsvatten med en kapacitet på 600 m³/h.² Här renas det kommunala avloppsvattnet i en membranbioreaktor (MBR) och används sedan av The DOW Chemical Company i sina ångpannor. Kondensatet renas sedan i en egen industriell vattenreningsprocess för att därefter kunna användas som matarvatten i kyltornen där det mesta av vattnet förångas och därmed lämnar processen.³ Den industriella vattenreningen utförs av Evides och består av direktmembranfiltrering i olika steg.

2.3 Belgien

I Veurne i västra Belgien har VA-bolaget Intermunicipal Water Company of the Veurne Region (IWVA) renat grundvatten från en akvifär i sanddynorna till dricksvatten under många år. Då befolkningmängden ökade ansågs detta inte längre hållbart varför man började infiltrera renat avloppsvatten från Wulpen avloppsreningsverk. Eftersom akvifären ligger i ett mycket känsligt område renas vattnet efter den konventionella reningsprocessen med direkt membranfiltrering med både ultrafiltrering och omvänd osmos (Van Houtte och Verbauwhede, 2006).

I Ardoois i västra Belgien används sedan den 13 juni 2019 renat avloppsvatten för bevattning i jordbruket.⁴ Projektet är en del av Interreg-projektet F2Agri som är ett samarbete mellan Nederländerna och Belgien. Här renas avloppsvatten från frysmatspecialisten Ardo och levereras i ett ledningsnät som sträcker sig 24 km och täcker en lantbruksyta på 500 ha. Vattnet används av 32 lantbrukare på de 16 km som står klart idag.

2.4 Frankrike

I Frankrike har jordbruksgrödor bevattnats med avloppsvatten i nästan ett århundrade. Fram till 1940-talet var detta ett sätt att få ut avloppsvattnet från staden framför allt runt Paris. Sedan 1990-talet har bidragande faktorer varit vattenbrist samt ett behov av att skydda vattendragen. Sedan dess har flera projekt om återanvändning av avloppsvatten startats; främst inom bevattning av jordbruksmark, men även för bevattning av golfplatser och för övrig bevattning i staden. En av Europas största projekt inom återvinning av renat avloppsvatten har startats i Clermont-Ferrand där man har anlagt ett 40 km långt bevattningssystem för att bevattna 700 ha majs. Att

¹ <https://recharge.iah.org/files/2018/03/Netherlands-Stuyfzand-MAR-19sep16.pdf>, 2019-04-18

² <https://www.evidesindustriewater.nl/producten-markten/afvalwaterzuivering/hergebruik-afvalwater/>, 2019-04-18

³ <http://www.dowduurzaam.nl/initiatief/hergebruik-huishoudelijk-afvalwater-terneuzen>, 2019-04-18

⁴ <https://www.vlakwa.be/publicaties/nieuws/nieuwsbericht/news/irrigatie-met-gezuiverd-afvalwater-ardo-is-een-feit/>, 2019-07-01

återanvända renat avloppsvatten som kylvatten inom industrin är också vanligt i Frankrike (Bixio et al., 2006).

2.5 *Israel*

Israel befinner sig i ett torrt område och återvinner därför en stor del av sitt avloppsvatten, främst inom jordbrukssektorn. Sedan 1978 har Israel riktlinjer som säger att avloppsvatten för bevattning inom jordbruket ska ha en kvalitet som är tillräcklig för att kunna äta frukten råa och att inget avloppsvatten ska ledas ut i havet (Feutrill et al., 2001, Icekson-Tal et al., 2003, Bixio et al., 2006). Enligt den senaste statistiken från 2014 återvinns 87 % av allt behandlat avloppsvatten, vilket motsvarar 82 % av Israels totala mängd avloppsvatten (Avgar, 2018).

De tre största återvinningsprojekten finns i de centrala och norra delarna av Israel. Där finns Dan Regionens avloppsreningsverk som renar Tel Avivs avloppsvatten. Det utgående vattnet leds till bassänger som återför vattnet till grundvattnet. Vattnet används sedan inom jordbruket upp till 87 km från infiltrationspunkten (Icekson-Tal et al., 2003).

2.6 *Danmark*

I Kalundborg på västra sidan av Sjælland finns ett industrikluster som är känt för sin långa historia att dela material- och energiflöden mellan industrierna. Här används vattenflöden från industrierna tillsammans och vattnet används ofta flera gånger innan det leds ut ur systemet. Till exempel används kylvattnet från ett raffinaderi som pannvatten för produktion av el och värme. I Kalundborg är tillgången till grundvatten begränsad. Därför behandlas numera vatten från en närliggande sjö av Kalundborgs avloppsreningsverk och levereras som tekniskt vatten till industrierna. En del av sjövattnet används direkt som kylvatten, annat går igenom en rening bestående av flockulering, ozonering, sandfilter, kolfilter och UV-desinficering innan det levereras till industrierna.

Vid Mølleå avloppsreningsverk utanför Köpenhamn renas kommunalt avloppsvatten från fyra kommuner med hjälp av en aktivt slamprocess och en efterföljande membranbioreaktor. Nedströms reningsverket finns ett Natura 2000-område och det renade avloppsvattnet används för att spä vattnet med renare vatten för att höja kvaliteten på recipientens vatten. Reningsverket har krav att rena vattnet till 3,5 mg/l BOD₅, 2,5 (> 10 °C) respektive 6,0 (< 10 °C) mg/l tot-N och 0,04 mg/l tot-P (Miljøministeriet Naturstyrelse, 2012). Dessutom har reningsverket krav på att bakterieinnehållet i utgående vatten ska hålla standarden för badvattenkvalitet.

2.7 *Namibia*

I Windhoek i Namibia finns världens mest kända vattenåtervinningsverk som renar stadens avloppsvatten till dricksvatten för stadens 300 000 invånare och har gjort det i över 50 år.⁵ Sedan 2001 är det ett konsortium

⁵ <https://www.wingoc.com.na/media/news/50th-anniversary-celebration-direct-potable-reuse-dpr-windhoek-namibia>, 2019-06-27

bestående av Veolia, Berlinwasser International och Wabag som drifvar anläggningen tillsammans. Namibia är ett av Afrikas torraste länder med endast en bråkdel av regnvatten som infiltrerar till grundvattnet.⁶ Historiskt har vattenförsörjningen förlitat sig på några stora dammar, men när dessa inte räckte till för att försörja befolkningen med dricksvatten, byggdes den första anläggningen för att återvinna stadens avloppsvatten.

2.8 Singapore

Idag levereras 40 % av Singapores dricksvatten från de fem NEWater-anläggningarna, anläggningar som producerar dricksvatten av stadens avloppsvatten.⁷ De första anläggningarna byggdes 2003 för att göra dricksvattenförsörjningen mer flexibel. NEWaters produktionsprocess bygger på membranprocesser i flera steg.⁸ Utöver det så kallade NEWater-vattnet får landet med begränsade landtytor och problem med förorenade vattenkällor sitt dricksvatten från lokalt grundvatten, importerat vatten och avsättning av havsvatten.⁹

2.9 Sverige

På Gotland har man bevattnat jordbruksmark med renat avloppsvatten sedan 1980-talet (Sjökvist och Lindvall). Det reade avloppsvattnet lagras efter mekanisk och kemisk rening i bevattningsdammar för att därifrån kunna användas av lantbrukare.

Under 1990-talet började bland annat Svalövs kommun att bevattna energiskog med Salix med biologiskt behandlat avloppsvatten (Hasselgren, 1999). Här fås en biologisk efterrening av avloppsvattnet i Salixodlingen samtidigt som det gynnar produktion av biomassa och energi.

Vid Böda avloppsreningsverk på norra Öland används återvunnet avloppsvatten för bevattning av jordbruksmark.¹⁰ Det utgående vattnet från reningsverket leds direkt till lagringsdammar varifrån det används för bevattning efter minst 14 dagars uppehållstid. Området har många sommarturister, vilket medför att tillgången på avloppsvatten är större på sommaren än på vintern, vilket passar tillämpningen bra. Bevattningen med renat avloppsvatten har medfört en ökning av skörden med 30 % och en stabil skörd under åren oberoende av väderlek trots att somrarna i området ofta är torra.¹⁰

Setra Heby sågverk i Heby kommun använder sedan sommaren 2018 det utgående kommunala avloppsvattnet för att bevattna timret från sågen.¹¹ Med denna lösning säkras sågens vattentillgång även torra somrar.

⁶ <https://www.veolia.com/en/newsroom/news/drinking-water-recycling-wastewater-windhoek-namibia>, 2019-06-27

⁷ <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>, 2019-06-27

⁸ <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>, 2019-06-27

⁹ <https://www.pub.gov.sg/watersupply>, 2019-06-27

¹⁰ <https://www.borgholm.se/avloppsvatten-som-resurs/>, 2019-07-01

¹¹ <https://heby.se/avloppsvatten-atervinns-anvands-till-bevattning-av-setras-timmer/>, 2019-07-01

I Mörbylånga byggs just nu ett nytt vattenverk som förutom grundvatten kommer att använda utgående industriavloppsvatten för produktionen av dricksvatten.¹² Vattnet kommer ifrån Guldfågels produktionsanläggning där det renas i ett industriverk.¹³ Det renas sedan vidare i kommunens nya vattenverk som baseras på desinfektion och membranteknik med en efterföljande återmineralisering för att kunna leverera 80 % av dricksvattenbehovet i kommunen under högsäsong.¹⁴

¹² <https://www.morbylanga.se/bygga-bo-miljo/Vatten-och-avlopp/Nytt-vattenverk-i-Morbylanga/>, 2019-07-01

¹³ <https://www.atl.nu/lantbruk/guldfageln-raddar-morbylanga-fran-torka/>, 2019-07-01

¹⁴ <https://www.morbylanga.se/bygga-bo-miljo/Vatten-och-avlopp/Nytt-vattenverk-i-Morbylanga/Om-vattenverket-teknik-och-sakerhet/>, 2019-07-01

3 Tekniker för avancerad rening av avloppsvatten

Kommunala avloppsreningsverk renar i första hand hushållsavloppsvatten men många avloppsreningsverk tar även emot avloppsvatten från industrier. Eventuella ämnen som inte är vanliga i hushållspillvatten, t.ex. vissa metaller, hanteras i uppströmsarbete, till exempel i samband med slamcertifieringen Revaq.¹⁵ På detta sätt hålls mängderna ovälkomna ämnen som inte normalt finns i hushållspillvatten låga i det inkommande avloppsvattnet. De kommunala avloppsreningsverken är designade för att avlägsna BOD samt näringsämnen kväve och fosfor från vattnet. Andra icke önskvärda ämnen, t.ex. läkemedelsrester, mikroplaster eller kemikalier som skadar växt- eller djurlivet i recipienten, avlägsnas beroende på reningsteknik, men reningen säkerställs normalt inte i konventionella avloppsreningsverk. För att säkerställa att dessa ämnen renas med tillräckligt hög effektivitet kan så kallad avancerad rening implementeras på reningsverken (Benström et al., 2016 och Roccaro, 2018).

Avancerad rening kan bestå av olika reningstekniker som antingen agerar själva eller tillsammans med andra befintliga reningssteg. De placeras ofta i slutet av ett reningsverk för att polera det renade avloppsvattnet genom att avlägsna särskilda ämnen. Den avancerade reningen kan bestå av enskilda reningssteg eller en sekvens av olika tekniker som kompletterar varandra. Olika sådana kombinationer av tekniker för att rena kommunalt avloppsvatten för industriell användning har bland annat undersökts av Baresel et al. (2015 och 2017). Idag diskuteras främst avancerad rening för att avlägsna läkemedelsrester från avloppsvattnet och de första reningsverken i Sverige börjar implementera reningssteg för läkemedelsrening. Reningstekniker för avancerad rening av avloppsvatten diskuteras nedan då de även utgör potentiella reningssteg för att uppnå de kvalitetskrav som finns i industri och jordbruk (se avsnitt 4 och 5).

3.1 Granulerat aktivt kol (GAK)

Granulerat aktivt kol har använts i reningsprocessen för dricksvatten länge men har även börjat hitta sin plats i rening av avloppsvatten och sanering av grundvatten. Aktivt kol produceras oftast av flyktigt bituminöst kol men kan även produceras av material som kokosnötskal, brunkol, trä och restprodukter från oljeindustrin. För att öka adsorptionsförmågan aktiveras kolet genom att exponeras för höga temperaturer (1 200 °C) och ånga. Aktivt kol har en stor aktiv yta (800–1 200 m²/g), vilket gör aktivt kol till en effektiv adsorbent. Mängden föroreningar aktivt kol kan adsorbberor på typen av aktivt kol samt aktiveringsmetoden (Benström et al., 2016).

¹⁵ <https://www.svenskvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/>, 2019-06-27

En fördel med GAK-filter är möjligheten till återanvändning. När filtret är mättat med föroreningar kan kolet bytas ut, regenereras och reaktiveras. Det är viktigt att reaktiveringen görs effektivt för att återfå filtrets fulla kapacitet. Reaktivering görs därför vanligtvis hos leverantören av aktivt kol och inte på plats på avloppsreningsverket. Vidare är det viktigt att inte överaktivera kolet eftersom det då förefaller risk att kollapsa porer, vilket minskar den aktiva ytan och leder till ökad adsorption av större molekyler och minskad adsorptionsförmåga för mindre molekyler (Worch, 2015 och Mulder et al., 2015). Slamproduktionen i ett GAK-filter är minimal då det aktiva kolet byts ut och reaktiveras när filtret är mättat med föroreningar. Det är vanligt att ange en tekniks livslängd i år. För GAK-filter anges denna istället i volym vatten per volymenhet GAK-filter (Mulder et al., 2015, Benström et al., 2016 och Moona et al., 2018).

Kolets potential att avlägsna föroreningar kan förbättras ytterligare genom att låta biofilm ackumuleras på kolets yta. Biofilmen adsorberar organiska molekyler och molekyler som bidrar med ytterligare biologisk nedbrytning. Denna process kallas biologiskt aktiverat kol (BAK) och är resultat av ett biologiskt mättat GAK-filter.

Ämnen adsorberas i ett aktivt kolfilter beroende på deras egenskaper som storlek och laddning. I en heterogen blandning som avloppsvatten spelar konkurrensen om fria adsorptionsytor stor roll för effektiviteten i adsorptionen av vissa ämnen. Detta kan innebära att föroreningar med en lägre adsorptionsförmåga kan konkurreras ut av ämnen med högre adsorptionsförmåga, vilket skulle leda till minskad adsorption och ökade halter i det utgående vattnet (Benström et al., 2016, Baresel et al., 2017).

Vid designen av ett aktivt kolfilter är det viktigt att ta hänsyn till mängden DOC (löst organiskt kol) och organiska partiklar i vattnet. DOC är ett mått på organiskt material som kan passera ett membran med porstorleken 0,45 µm och har en tendens att konkurrera med mikro-föroreningarna om kontaktytor i filtret. Partiklar riskerar att sätta igen kolfiltret. Ytterligare en viktig designparameter är den så kallade empty bed contact time (EBCT) som beskriver uppehållstiden för avloppsvattnet i en tom reaktor och normalt mäts i minuter (Worch, 2012, Mulder et al., 2015, Benström et al., 2016, Baresel et al., 2017).

GAK-filter har ingen generell desinficerande förmåga, men väsentlig reduktion av bakterier har ändå kunnat visas. Dessutom minskar mängden COD och närsalter i GAK-filter. Läkemedelsrester avlägsnas med varierande effektivitet i GAK-filter. Mikroplaster avskiljs delvis genom filterverkan i ett GAK-filter men återförs vid backspolning till avloppsvattnet och hamnar återigen i GAK-filtret eller i slammet (Baresel et al., 2017).

3.2 Pulveriserat aktivt kol (PAK)

Jämfört med granulerat aktivt kol har pulveriserat aktivt kol (PAK) lägre partikelstorlek och därmed en större adsorptionsyta. En stor fördel med PAK är att det utöver att kunna användas som poleringssteg i slutet av vattenreningen, även kan användas i befintlig rening, t.ex. i ett biologiskt

reningssteg där det tillsätts till den biologiska reningen i t.ex. en aktivt slamprocess. När biomassa ansamlas vid kolets yta ökar kolets effektivitet att avlägsna mikroföroreningar ytterligare. På samma sätt som i GAK-filter påverkas adsorptionsförmågan av halten DOC i vattnet (Worch, 2012 och Mulder et al., 2015).

En nackdel med PAK är att kolet separeras från avloppsvattnet och återfinns i slammet som lämnar reningsverket. Exakt hur detta sker beror på slamhanteringen på avloppsreningsverket samt på hur PAK används i reningen. Generellt är det dock mycket svårt att separera kolet från slammet.

3.3 Membran

Jämfört med filter som avskiljer fasta ämnen från en vätska, utgör membran en selektiv barriär som tillåter vissa molekyler att passera membranet medan andra hålls tillbaka. Inflödet till membranet delas därmed upp i en koncentrerad ström, retentatet, och en renad ström som har passerat membranet, permeatet.

Kanske den viktigaste designparametern för membransystem är att minimera risken för fouling, igensättning av membranet av partiklar, salter, organiska ämnen eller biologisk påväxt. Foulingen beror på feedvattnets kemiska, fysikaliska och biologiska egenskaper samt membrantypen och drifttegenskaper.

För att förhindra fouling på membranytan behöver skadliga ämnen i feedvattnet minskas och membranerna behöver backspolas regelbundet och eventuellt rengöras kemiskt. Backspolning kan göras vid behov när trycket över membranet stiger över en viss nivå, eller efter förutbestämda tidsintervall. Backspolning kan ske med luft och/eller vatten för att avlägsna partiklar. Detta görs vanligen någon gång per 1–2 timmar och varar under någon minut. För att avlägsna organiska beläggningar och biofilm kan en spolning med kemikalier behövas, vanligen någon gång per dag. Normalt krävs förbehandling för att minska halten partiklar, suspenderade ämnen (TSS) och bakterier i feedvattnet (Metcalf och Eddy, 2014).

3.3.1 Mikrofilter (MF) och ultrafilter (UF)

Separationen av partiklar i MF- och UF-membran sker främst med avseende på partiklarnas storlek. Membranerna i mikrofiltrering har en porstorlek på omkring 0,04–0,1 μm , vilket överensstämmer ungefär med storleken på många bakterier och suspenderade ämnen (TSS) i vattnet (Voutchkov, 2013, Metcalf och Eddy, 2014). Mikrofiltrering används därför ofta för reduktion av turbiditet, suspenderat material (SS) och mikroorganismer samt som förbehandling för omvänd osmos. UF-membran har något mindre porer, ner till 0,01 μm , och membranerna är därmed effektiva mot mindre partiklar, bakterier och virus samt större suspenderade ämnen som kolloider, proteiner och kolhydrater (Metcalf och Eddy, 2014). Huvudskillnaden mellan MF och UF är att virus avskiljs i UF, vilket de inte gör i MF. Även den partikelbundna delen av andra föroreningar som

kväve, fosfor och tungmetaller samt mikroplaster avskiljs effektivt från vattnet med ultrafiltrering (Baresel et al., 2017). Däremot avskiljs inte läkemedelsrester, som vanligtvis inte är partikelbundna med UF (Baresel et al., 2017). UF-membran kan kombineras med pulveriserat aktivt kol där kolet adsorberar mindre föroreningar som på så sätt hålls tillbaka i UF-membranet (Worch, 2012).

Fouling sker i MF och UF då partiklar och andra ämnen sätter igen porerna i membranen. Små föroreningar som bildar en filterkaka på membranytan leder till ett högre tryckfall över membranet än större partiklar.

UF-membran kan användas som ett kompletterande reningssteg för rening av utgående vatten eller för att ersätta det traditionella eftersedimenteringssteget i form av en membranbioreaktor (MBR). I en sådan kombineras en biologisk rening med ett UF-membran för att avskilja slammet (Baresel et al., 2017).

3.3.2 Nanofiltrering (NF) och omvänd osmos (RO)

Omvänd osmos är ett trycksatt membransystem som kan avlägsna vatten från lösta föroreningar som salter och organiskt material med låg molekylvikt. Trycket behövs för att motverka det osmotiska trycket i systemet. Omvänd osmos används primärt för avsättning av havsvatten men har även hittat sin plats i dricksvatten- och avloppsvattenrening på grund av sin förmåga att avlägsna mikroföroreningar ur vatten. Utöver separationen med avseende på storlek avskiljs i NF och RO även mindre ämnen genom diffusion genom membranet. I NF kan vanligtvis ämnen på minst 0,001 µm och i RO ämnen på minst 0,0001 µm avskiljas. Detta inkluderar bland annat virus och bakterier men även tungmetaller och andra lösta ämnen (Bartels, 2006, Metcalf och Eddy, 2014). I NF avlägsnas även vissa lösta metalljoner som kalcium och magnesium, varför NF ofta används för avhärdning av vatten. Omvänd osmos är dessutom effektiv för avskiljning av salter från vatten (Metcalf och Eddy, 2014).

Nackdelen med omvänd osmos är dess höga kostnad på grund av det höga energibehovet för att upprätthålla ett högt tryck (Demeuse, 2009).

NF och RO kräver hög vattenkvalitet och därmed lämplig förbehandling. RO-membranen störs av partiklar och sand som kan skada membranen samt kolloidala och suspenderade ämnen (Bartels, 2006, Voutchkov, 2013, Metcalf och Eddy, 2014). Dessa kan delvis avlägsnas med MF- och UF-membran (se avsnitt 3.3.1) som i sin tur vid behov skyddas av grövre filter. För övrigt påverkas inte utgående vattenkvalitet nämnvärt av ingående vattenkvalitet, men förbehandlingen av vattnet innan den omvända osmosen är viktig för att minimera foulingen i membranen (López-Ramírez et al., 2002). Med ökad fouling ökar även underhållskostnaderna och drifttiden minskar. För att minska biofoulingen bör vattnet desinficeras, t.ex. genom UV (se avsnitt 3.5), ozon (se avsnitt 3.4.1) eller klorering, innan det leds in i ett NF- eller RO-membran. Även grövre membran kan ge viss minskning av mikroorganismer (se avsnitt 3.3.1). Det är även möjligt att dosera kloramin innan den omvända osmosen (Bartels, 2006) där man även kan dosera en beläggningshämmare eller biocider för att minimera risken för

beläggningar (Bartels, 2006, Metcalf och Eddy, 2014). Också avlägsnandet av järn och mangan minskar risken för beläggningar (Metcalf och Eddy, 2014).

3.3.3 Membranbioreaktor (MBR)

I en membranbioreaktor kombineras biologisk rening med ett membran som ersätter sedimenteringen för separation av slam från vattenfasen. Det är alltså inte något reningssteg för avancerad rening som läggs till efter en vanligt biologisk avloppsrening utan ett alternativ för just den vanliga biologiska reningen. Vanligtvis används MF- eller UF-membran (se avsnitt 3.3.1) (Metcalf och Eddy, 2014).

3.4 Avancerade oxidationsprocesser (AOP)

Avancerade oxidationsprocesser (AOP) har använts inom rening av dricksvatten sedan 1980-talet, men har på senare år även börjat att hitta sin plats inom rening av avloppsvatten. I AOP bildas radikaler som omvandlar organiska och oorganiska föreningar i vattnet. Samtidigt ökar radikalerna avloppsvattnets biologiska nedbrytbarhet, vilket kan vara användbart i förbehandlingen av avloppsvattnet. AOP används normalt inte som desinficeringsmetod på grund av radikalernas korta livslängd som ofta ligger på några mikrosekunder. Istället används AOP som en stark oxidationsmetod som förstör föroreningar i vattnet och omvandlar dessa till mindre skadliga eller ofarliga ämnen.

3.4.1 Ozonering

Ozon är en mycket reaktiv gas med begränsad löslighet i vatten. När ozon tillsätts till avloppsvatten avlägsnas mikroföroreningar inte men bryts istället ner till andra ämnen som finns kvar i vattnet. Reaktionen sker antingen direkt genom att ozonet oxiderar mikroföroreningen eller indirekt genom hydroxylradikaler. Hydroxylradikalerna bildas genom självnedbrytning av ozon och har en mycket starkare nedbrytande effekt på mikroföroreningar än ozon. Anledningen till detta är att ozon angriper mikroföroreningar på ett mer selektivt sätt medan hydroxylradikaler angriper på bredare front.

Eftersom ozon inte är någon stabil gas behöver den produceras på plats på reningsverket. När ozon blandas i vattnet krävs en lufttät bassäng och det behöver finnas lösningar på plats som tar hand om utsläppen i samband med överskottsgas.

Ozonering kan användas som slutpolering eller som ett steg mellan de ordinarie reningsstegen. I det andra fallet ökar reningseffektiviteten av de vanliga föroreningarna och den efterföljande biologiska reningen kan ta hand om nedbrytningsprodukter från ozoneringen (Barelsel et al., 2017, Miehe et al., 2017).

Ozondoseringen som krävs för att bryta ner mikroföroreningar är starkt beroende av DOC men även oorganiska föreningar som nitrit kan påverka. Eftersom processen inte avlägsnar utan endast bryter ner föroreningar behöver utredas huruvida nedbrytningsprodukterna är skadliga eller

inte. Dessutom krävs en efterrening i form av t.ex. ett sand- eller GAK-filter för att avlägsna nedbrytningsprodukterna (Mulder et al., 2015).

Ozonering är effektiv mot många läkemedelsrester men påverkar inte mängden mikroplaster i avloppsvattnet. Ozonering anses vanligtvis som desinficerande men effekten är beroende av driften av anläggningen och bör därför inte anses som fullständig (Baresel et al., 2017).

3.4.2 UV / väteperoxid (UV/H₂O₂)

Då väteperoxid (H₂O₂) tillsätts till vattnet samtidigt som man bestrålar med UV-ljus bildas hydroxylradikaler. Hydroxylradikaler är starkt oxiderande och bryter ner mikroföroreningar effektivt. För en effektiv nedbrytning av mikroföroreningar behöver vattnet ha låg turbiditet eftersom ämnena som orsakar turbiditeten (t.ex. sand, lera,) har en effekt på de optiska egenskaperna av vattnet. Även höga halter DOC har en negativ effekt på processen. För att hålla kvar hydroxylradikalerna behöver vattnet vara fri från bikarbonater eller karbonater eftersom dessa annars absorberar UV-ljuset (Mierzwa et al., 2018).

3.4.3 Ozon / väteperoxid

Ett billigare alternativ till UV/väteperoxid-processen kan vara kombinationen av ozon och väteperoxid. Denna process är effektiv för att kontrollera smak och lukt av dricksvatten och har större effekt på nedbrytningen av vissa spårföroreningar (USEPA, 2018). Här accelereras sönderfallandet av ozon till hydroxylradikaler vilket leder till en högre koncentration hydroxylradikaler. Normalt sker nedbrytningen av mikroföroreningar genom reaktionen med hydroxylradikaler såvida inte föroreningen har särskilt hög affinitet för ozon (Ikehata och Li, 2018).

3.5 Ultraviolettt ljus (UV)

Rening med ultraviolettt ljus (UV) är en desinficeringsmetod som inaktiverar mikroorganismer, vilket oskadliggör dem. Metoden är effektiv mot bakterier (t.ex. E. coli), parasiter och de flesta virus. Ofta används UV i dricksvattenrening för att förhindra att skadliga bakterier följer med dricksvattnet, men tekniken kan även användas för att förhindra smittspridande ämnen att nå vattendrag och andra applikationer nedströms avloppsreningsverket. UV genererar inga biprodukter (jämför ozonering, se avsnitt 3.4.1) och kräver endast en kort exponeringstid för en effektiv desinficering jämfört med t.ex. ozonering. Effektiviteten i rening med UV påverkas av UV-transmissionen, mängden suspenderat material i vattnet, vattnets flödes hastighet, hårdhet och UV-dosen. UV-transmissionen är direkt kopplat till mängden partiklar i vattnet och partikelstorleken och effektiviteten av desinfektionen hjälps därför av en förbehandling genom filtrering. För effektiv desinficering av avloppsvatten är det viktigt att mikroorganismerna inte blockeras från UV-ljuset (Uslu et al., 2016 och USEPA, 2018).

Kommersiella UV-lampor finns i två typer: lågtryckslampor som avger nästan allt sitt ljus vid en enda våglängd (254 nm) och medeltryckslampor

som ger en högre intensitet och ett bredare spektrum (SVU, 2009). Lågtryckslampor utgör den vanligaste typen och installeras därför ofta för desinficering av utgående avloppsvatten innan utsläpp till ytvatten. För anläggningar med begränsad yta för en UV-anläggningen kan medeltrycksvarianten vara ett bättre val (USEPA, 2018). Medeltrycksanläggningar är dock inte lika effektiva mot mikroorganismer.

4 Användning av renat avloppsvatten i industrin

4.1 Kartläggning av industriell användning

38 industrier och andra aktörer med stor vattenförbrukning i närheten av de deltagande avloppsreningsverken intervjuades angående sin vattenförbrukning. Den sammanlagda mängd dricksvatten som används i dessa industrier är omkring 3,5 miljoner m³/år. Intresset att diskutera återanvändning av vatten hos industrierna var stort. Många industrier har redan ett pågående arbete att minska sin vattenförbrukning och en del arbetar på att återanvända vattnet internt. Intervjuerna ledde till ytterligare inspiration att fundera både över möjligheten att återanvända vatten internt och att använda annat än dricksvatten i stort. Vissa industrier renar idag dricksvatten för att få önskvärd kvalitet. Användningen, i detta fall pannvatten, kräver mycket rent vatten men eftersom industrin själv har en vattenrening innan ångpannan är man inte lika beroende av kvaliteten på ingående vatten. Trots de höga kraven på vattenkvaliteten var industrierna positiva till att se över möjligheten att använda återvunnet avloppsvatten för att ersätta dricksvatten.

Industrikontakterna redogjorde för mängden dricksvatten som används samt applikationerna som är mest vattenintensiva. Dessa kategoriserades genom att lägga ihop liknande applikationer utifrån erforderlig vattenkvalitet, se Tabell 4.1. Rekreation, spolning och tvätt av fordon utgjorde de oftast förekommande behoven, tätt följt av kylvatten och pannvatten. Endast tre av de 38 intervjuade industrierna hade behov av ett processvatten där vattnet ingick eller hade kontakt med produkten, vilket medför individuella krav på vattenkvaliteten som är svår att generalisera. Lika många industrier nämnde behov av rengöring i livsmedelsindustrin där vattnet är i kontakt med ett livsmedel. Endast få av de tillfrågade industrierna nämnde ett behov av vatten inom vattenreningsprocesser. Däremot uppstår ett sådant behov hos VA-organisationerna själva. Eftersom det bör vara den enklaste tillämpningen att implementera med återvunnet avloppsvatten är den trots allt viktig att beakta.

Tabell 4.1 Kategoriserade användningsområden för vatten i industrin enligt genomförda intervjuer.

Kategori	Applikationer
Kylvatten	Kylning
Rekreation och spolning	Bevattning fastighet, parker, fotbollsplan, påfyllning av dammar, värmning av hamnbassäng Spolning av bilar, ledningar, klottersanering
Tvätt av fordon	Tvätt av fordon
Pannvatten	Pannvatten, spädvatten fjärrvärme
Vattenrening	Backspolning av filter, polymerberedning
Rengöring inom livsmedelsindustri	Vatten i kontakt med livsmedel
Processvatten	Vatten i kontakt med produkt

4.2 Kvalitetskrav

4.2.1 Kylvatten

Av de intervjuade industrierna hade flera industrier i olika branscher ett behov av att kyla i processen. Kylvattensystem kan se ut på olika sätt. I öppna system tas kylvatten in i processen där kylan värmeväxlas mot den ström som behöver kylas. Därefter släpps det varma kylvattnet ut. I slutna system går kylvattnet i en sluten krets. Här behövs mycket mindre vatten eftersom vattenförbrukningen endast utgörs av att fylla på för att kompensera för förluster (Sharma och Sanghi, 2013). I ett öppet kylsystem krävs mycket större vattenmängder. I vissa fall kan man använda vatten från t.ex. olika vattendrag och det använda vattnet kan sedan släppas ut i samma vattendrag.

Kylvatten behöver inte vara av dricksvattenkvalitet, men det är viktigt att begränsa mängden partiklar då dessa kan ha en betydande effekt på värmeöverföringskoefficienten och därmed effektiviteten (Xu et al., 2016). Värmeöverföringskoefficienten är känslig för fouling och redan 0,25 mm fouling kan leda till en minskning av värmeledningsförmågan på över 30 % (Xu et al., 2016). Fouling orsakas av salter, organiska partiklar och mikrober. Det är därför viktigt att vattnet är bakteriefritt.

Även vattnets hårdhet påverkar värmeledningsförmågan i värmeväxlare genom så kallat scaling. Kalciumsalter kan sätta sig på värmeväxlarnas yta och minska värmeledningsförmågan. Detta förhindras vanligen genom att kontrollera pH, minska kalciumkoncentrationen i vattnet eller att tillsätta beläggningshämmare (Metcalf och Eddy, 2014).

Fosfor utgör näring till mikroorganismer och bidrar därför till bildandet av biofilm, vilket minskar värmeledningsförmågan i värmeväxlare. I låga halter, under 4 mg/l, vid pH 7–7,5 ger det dock ett korrosionsskydd. Det samma gäller för nitrit och nitrat vid höga koncentrationer, över 30 mg/l (San Diego Water Authority, 2009). Dessa halter är dock inte relevanta för renat avloppsvatten då de är mycket högre än normala utgående halter i kommunala reningsverk (se Tabell 6.2).

4.2.2 Rekreation och spolning

Rekreation och spolning innefattar ett brett spektrum av användningsområden. I kartläggningen i denna studie identifierades följande användningsområden som ingår i denna kategori:

- bevattning av trädgårdar, parker och fotbollsplan
- påfyllning av läckande dammsystem som idag fylls på med dricksvatten
- ledning av varmt renat avloppsvatten i hamnbassänger för att minska risken för påfrysning. Här ligger fokus på temperaturen snarare än vattnet i sig.
- spolning av gator och ledningar

Baresel et al. (2015) föreslår att inkludera rekreation under den bredare kategorin som även innehåller bevattning inom jordbruk och även innefattar bevattning i parker och golfbanor. Vi har här valt att särskilja rekrea-

tion från bevattning inom jordbruk eftersom näringsämnen inte utgör något problem inom bevattning inom jordbruk eller annan odling, medan bevattning av grönytor i städer inte nödvändigtvis gagnas av ett hög näringsinnehåll i vattnet. Detta beror dock på den specifika användningen och utöver näringsinnehållet liknar kvalitetskraven för rekreation, spolning och bevattning inom jordbruk varandra. Även WHO och FN började särskilja rekreation och bevattning inom återanvändning av avloppsvatten, där de fokuserar på hur nära kontakt människor och recipienten har med vattnet och där näringsinnehållet är viktigt för att förhindra övergödning (Helmer och Hespanhol, 1997).

Även om dammar och hamnbassänger inte alltid är designade för att vara lämpliga badplatser, har vi i denna studie utgått ifrån att kvalitetskraven för denna kategori är desamma som för badvatten eftersom det finns risk för mänsklig kontakt med vattnet i samtliga applikationer i kategorin. Dessutom behöver hänsyn tas till risken att människor eller djur dricker mindre mängder av vattnet, vilket också är fallet för badvatten. Förutom att säkerställa att vattnet inte innehåller några vassa föremål som glas, behöver framför allt mängden skadliga mikroorganismer bevakas regelbundet i badvatten (Badvattenförordning, 2008). I de fall då vattnet skall användas i besprutningssystem eller liknande är det även viktigt att innehållet av partiklar som kan störa utrustningen är låg.

4.2.3 Tvätt av fordon

Behovet att tvätta fordon var ett återkommande användningsområde i intervjustudien. Behovet nämndes av kommunala verksamheter, sjukhus och olika industrier. Ren spolning av fordon där endast vatten används hanteras under kategorin rekreation och spolning (se avsnitt 4.2.2) medan denna kategori avser tvätt med hjälp av kemikalier.

Generellt bör tvättvatten inte innehålla för höga halter mineraler som orsakar vattnets hårdhet då detta hindrar tvättmedel från att löddra samtidigt som det riskerar att ge upphov till avlagringar. Vattnet bör därför innehålla maximalt 17 mg/l kalcium och magnesium. Halten lösta ämnen (TDS, total dissolved solids) bör inte överstiga 50 mg/l för att förhindra att de lämnar fläckar på fordonen när vattnet har avdunstat och pH bör vara runt 7 (Corbisiero, 2017).

För att tvätta fordon används ofta ett högtryckssystem med tryck på mellan 20 och 180 bar (Kärcher, 2019). För att hantera högtryckssystem med över 200 bar krävs en särskild utbildning, medan system med lägre tryck faller under arbetsmiljölagen (Arbetskyddsstyrelsen, 1994). Högtryckssystem kan generera ånga och en dimmig miljö. Ibland tillsätts kemikalier som kan riskera att skada luftvägarna. Aerosoler utgör en risk i högtryckssystem då de kan bära med sig skadliga ämnen och mängden skadliga mikroorganismer behöver övervakas noga (Kunz och Bainscyk, 2014).

4.2.4 Pannvatten

Flera av de tillfrågade industrierna använde sig av ångpannor, antingen i produktionen av fjärrvärme eller i en kemisk produktionsprocess. Ång-

pannor har behov av ett matarvatten, även kallat pannvatten. För att skydda ångpannan och säkerställa en effektiv produktion är kvalitetskraven på pannvattnet höga. Ofta används dricksvatten för ändamålet, som renas ytterligare på plats, i många fall med hjälp av omvänd osmos. Eftersom industrierna därför redan idag har egna vattenreningsanläggningar, är det rimligt att fundera över möjligheten att ta in en annan vattenkvalitet än dricksvatten. Kravet på vattnet är i så fall att det är tillräckligt rent för att vara lämplig att föra in i en omvänd osmosanläggning. För att skydda RO-membranet från fouling innebär detta att vattnet är fri från partiklar och mängden kolloidala och suspenderade ämnen är låga samt att vattnet är desinficerat för att minska risken för biologisk påväxt (se mer i avsnitt 3.3.2).

4.2.5 Vattenrening

Även rening av avloppsvatten har ett behov av rent vatten i processen. Vattnet används på reningsverk framför allt för spolning, backspolning av olika typer av filter och beredning av polymer till slamförtjockning. I de deltagande avloppsreningsverken används fortfarande dricksvatten till detta och framför allt till beredning av polymer som används för förbättrad separation och förtjockning av slam.

För spolning av utrustning, ledningar, mm bör samma kvalitetskrav gälla som för spolning i andra sammanhang, se avsnitt 4.2.2. Detta innebär att vattnet behöver vara fri från skadliga mikroorganismer och i vissa fall partiklar för att skydda utrustningen. För backspolning av filter behövs ingen särskild rening utan ofta är det tillräckligt att använda vattnet som har renats med respektive filter som skall backspolas.

I förtjockningen av slam på avloppsreningsverk används polymer. Denna blandas med vatten innan polymerblandningen tillsätts till slammet. I Sverige används till detta fortfarande nästan uteslutande dricksvatten. Det finns dock möjlighet att istället använda annat vatten och det är inte ovanligt att renat avloppsvatten används för beredning av polymer på avloppsreningsverk utomlands. Det är viktigt att vattnet är fritt från partiklar och har låg halt suspenderat material för att inte utrustningen i polymerberedningen skall sätta igen och polymerkemin inte skall störas. Vattnet behöver även vara fri från bakterier som annars ger biologisk påväxt som sätter igen utrustningen. I övrigt behöver mer specifika kvalitetskrav för att vattenkemin och polymerens aktivitet inte skall störas studeras vidare. Då detta är en specifik användning ligger den dock utanför denna rapport.

4.2.6 Rengöring inom livsmedelsindustri

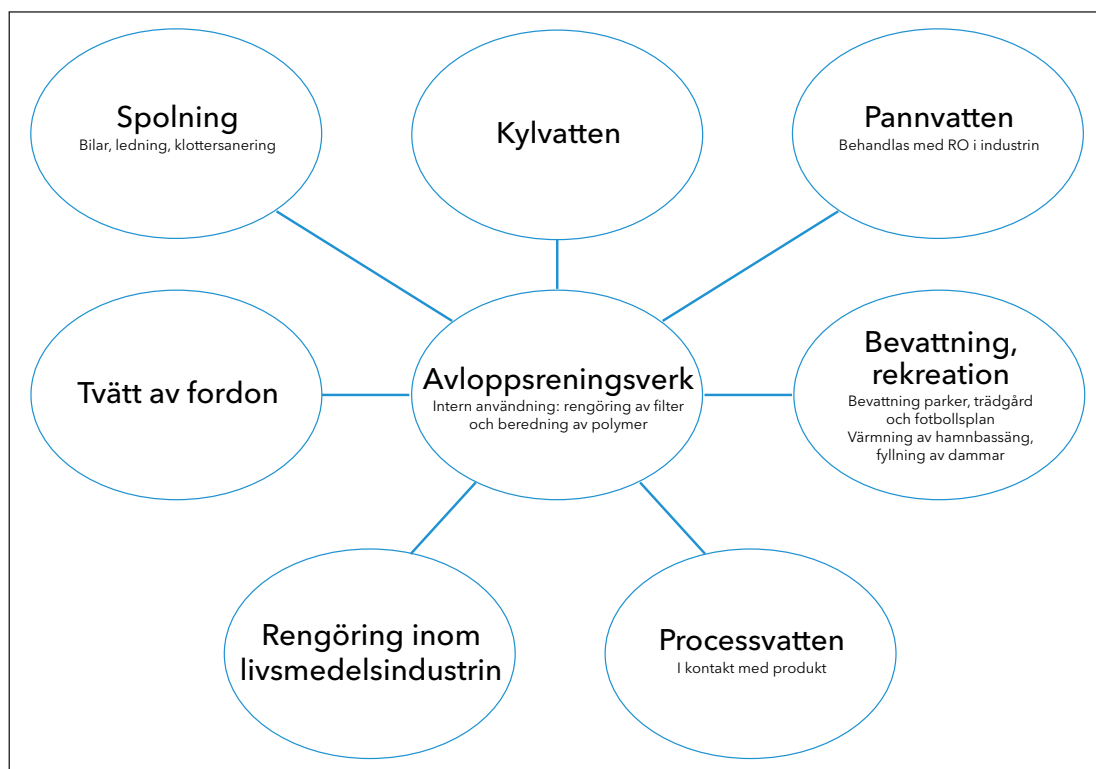
Många av de tillfrågade industrierna uttryckte ett behov för större mängder vatten för rengöring. De flesta beskrivs närmare i avsnitt 4.2.2 som beskriver vattenanvändning för spolning och enkel rengöring. Livsmedelsindustrier utgör en grupp med särskilda behov då de ofta uttrycker att de har krav på sig att endast använda vatten av dricksvattenkvalitet. Det är inte svårt att producera sådant vatten av avloppsvatten, men eftersom denna rapport syftar till att hitta potentiella användningsområden med lägre krav på vattenkvaliteten diskuteras applikationer med krav på

dricksvattenkvalitet inte vidare här. Samtliga applikationer inom rengöring i livsmedelsindustrin som industrierna nämnde handlade om rengöring av processutrustning och liknande. Det kan tänkas att det även kan finnas behov av spolning av bilar i t.ex. slakterier som kan ha lägre krav på vattenkvalitet men inga sådana applikationer nämndes av industrierna i denna studie.

4.2.7 Processvatten

En del industrier använder stora mängder vatten i sin produktionsprocess där vattnet har kontakt med produkten och eventuellt även ingår i produkten. I intervjuerna i denna studie nämndes endast 3 sådana användningsområden, alltså mindre än 10 % av svaren. Kvalitetskraven på vatten som används direkt i kontakt med en produkt är väldigt specifika för en viss industri och produkt. Syftet med denna studie är att identifiera likheter mellan behoven på vattenkvalitet och denna applikation diskuteras därför inte vidare här. Det är dock viktigt att notera att det på samma sätt som för användning av vatten i livsmedelsindustrin (se avsnitt 4.2.6) inte är tekniskt svårt att producera ett vatten med dricksvattenkvalitet som kan ersätta dricksvattnet även i dessa processer.

En summering av kvalitetskraven för olika industriella användningsområden samt bevattning inom jordbruket återges i Figur 4.1.



Figur 4.1 Summering av användningsområden i industrin.

5 Bevattning med renat avloppsvatten i jordbruk

Trots att Sverige har relativt mycket nederbörd, faller det mesta under vinterhalvåret och under växtperioden lider många regioner av ett nederbördsunderskott som leder till att grödorna upplever vattenbrist. Vattenbehovet skiljer sig mellan olika grödor. Det ekonomiska incitamentet för bevattning skiljer sig också mellan olika grödor. I Sverige bevattnas därför främst specialgrödor som potatis, grönsaker och bär medan spannmål sällan bevattnas. Jordbruksverkets utredning om jordbrukets behov av vattenförsörjning (Mattsson et al., 2018) påpekar dock att det kan vara ekonomiskt lönsamt att vattna även grödor av mindre värde, t.ex. spannmål, sockerbetor och vall, om kostnaderna för bevattningen hålls låga. Bevattning av jordbruksgrödor medför en ökad odlingssäkerhet, högre skördar och mindre produktionsrisk. Behovet för bevattning varierar mellan grödorna men beror även på jordmån och väderlek och kan därmed variera mycket från år till år.

Motivationen att använda renat avloppsvatten för bevattning inom jordbruket ligger inte endast i själva vattnet utan även i möjligheten att ta vara på näringsämnen som kväve och fosfor i vattnet. Det är viktigt att vattnet är fritt från smittspridande ämnen, både för att förhindra smittspridning under bevattningstillfället och vid förtäring av den odlade produkten (Baresel et al., 2015, Mattsson et al., 2018). Detta är viktigt att komma ihåg även vid bevattning med ytvatten direkt från vattendrag eller från dammar då även dessa kan innehålla patogener. För ytvatten kan dessa härstamma från avloppsvatten som leds till vattendraget och i lagringsdammar kommer de oftast från fåglar som vistas i och vid dammen. Fåglar kan även medföra att lagring av vatten, vilket är vanligt när återvunnet avloppsvatten används för bevattning, kan medföra en försämring av vattenkvaliteten vad gäller smittspridande ämnen. Olika grödor har olika känslighet för salt och salthalten i bevattningsvatten bör därför hanteras. Jordbruksverkets utredning om jordbrukets behov av vattenförsörjning (Mattsson et al., 2018) diskuterar möjligheten att vattna med salthaltigt vatten utifrån salthalten i havsvatten i Sverige. Dessa salthalter ligger omkring 0,1–0,9 % med de högre salthalterna i de södra delarna av landet. Då detta jämförs med salthalterna i utgående avloppsvatten (0,03 % för Sjölunda avloppsreningsverk, se avsnitt 6) bör salthalten i avloppsvattnet inte utgöra något större problem för bevattning inom jordbruket så länge man inte vattnar de mest saltkänsliga grödorna med salthaltigt vatten.

2018 la EU fram ett förslag på en ny förordning om minimikrav för återanvändning av vatten (COM(2018)337). Förordningen riktar främst in sig på bevattning med återvunnet vatten inom jordbruket. Här delas kvalitetskraven in i fyra undergrupper beroende på om grödorna konsumeras råa eller tillagade, om de ätliga delarna har kontakt med det återvunna vattnet och vilken bevattningsmetod som används. De exakta gränsvärdena samt

krav på övervakning återfinns i bilagorna till förslaget (COM(2018) 337).
Framst regleras mängden bakterier med E.coli som indikatororganism,
BOD och mängden totalt suspenderat material (TSS).

6 Implementering av återvinning av renat avloppsvatten i kommunala avloppsreningsverk

6.1 *Utgående vattenkvalitet från avloppsreningsverk*

En sammanställning av utgående vattenkvalitet från de deltagande reningsverken återges i Tabell 6.1. Siffrorna i tabellen härstammar från miljörapporter och därför nämns främst de parametrar som normalt anges där, dvs. utgående BOD, tot-N, tot-P och i enstaka fall COD och SS. Utgående genomsnittsvattnet från de deltagande reningsverken har följande sammansättning:

- BOD: 4,9 mg/l (medel), 9,7 mg/l (max)
- Tot-N: 13,4 mg/l (medel), 36 mg/l (max)
- Tot-P: 0,2 mg/l (medel), 0,3 mg/l (max)
- COD: 34,9 mg/l (medel), 49 mg/l (max)

Dessa värden är genomsnittsvärden och representerar därför inget särskilt avloppsvatten utan syftar till att ge en allmän bild av de ungefärliga nivåerna för olika ämnen i utgående vatten från kommunala avloppsreningsverk i Sverige.

Vidare kan det utgående vattnet innehålla spår av metaller som kvicksilver, kadmium, bly, nickel, krom, koppar och zink men dessa värden anges inte i miljörapporterna. Utökade analysresultat från Sjölunda avloppsreningsverk mellan 2017 och 2018 visar på omkring 310 mg/l klorid i utgående vatten (VA SYD, 2018a). Vidare uppmättes 2015 57 mg/l kalcium, 11,9 mg/l magnesium, 10,5 TOC och 10,2 mg/l DOC i utgående vatten från Sjölunda avloppsreningsverk (VA SYD, 2018b).

6.2 *Förslag på reningstekniker för återvinning av avloppsvatten*

Många av de tillämpningsområden för återvunnet avloppsvatten i industrin som identifierades i denna studie kräver rening från partiklar och suspenderat material (TSS) som är mer långtgående än den som uppnås i reningsverken idag. För vidare rening lämpar sig, utöver tätare filter än vad som eventuellt används idag, kolfilter (GAK eller PAK) eller olika membran. Här bör nanofiltrering och omvänd osmos räknas ha onödigt hög effektivitet samtidigt som de behöver särskild förbehandling. För samtliga processer gäller att effektiviteten minskar när det finns för mycket partiklar eller suspenderat material (TSS) i vattnet. Filter bör därför vid behov sättas i serie med en förbehandling av grövre filter som backspolas regelbundet. Med dessa reningstekniker minskas även turbiditeten effektivt. Det är också viktigt att komma ihåg syftet med varje reningssteg. Aktivt kol som används för rening av mikroföroreningar hindras av högre halter

Tabell 6.1 Sammanställning av deltagande avloppsreningsverk med information om deras utgående flöde och halter av BOD, tot-N och tot-P

VA-verksamhet	ARV	Antal pe	Inflöde [m ³ /d]	Recipient	Utflyde					
					Flöde [m ³ /d]	BOD [mg/l]	Tot-N [mg/l]	Tot-P [mg/l]	COD [mg/l]	SS [mg/l]
VA SYD	Sjölunda	550 000	108 100	Öresund	N.A.	9	13	0,3	46	N.A.
Gryaab	Ryaverket	763 064 (anslutna)	378 158	Göta älvs och Nordre älvs mynning	N.A.	7,6	7,2	0,22	41	2.4
Kalmar Vatten	Kalmar	100 000	16 192	Kalmarsund	16 192	3,7	12,7	0,14	43	6.3
Laholmsbuktens VA	Västra Strandens	143 000	32 787	Laholmsbukten	32 787	2,8	6	0,29	N.A.	N.A.
Hässleholm	Hästveda ARV	3 400	691	Lillasjön	691	4,7	18	0,11	26	N.A.
Hässleholm	Vinslöv	5 450	691	Vinnö å	691	9,7	36	0,26	49	N.A.
Hässleholm	Vittsjö	2 150	636	Emmaljungaån	326	1,6	9,2	0,06	40	N.A.
NSVA	Ekebro	14 300	4 000	Bjuvbäcken	4 000	6	10,8	0,16	N.A.	N.A.
NSVA	Ekeby	3 500 (anslutna)	1 510	Bökebergsbäcken	1 409	7,3	18,7	0,13	N.A.	N.A.
NSVA	Kågeröd	1 494 (anslutna) + 875 industri	2 400	Vegeå	N.A.	3,1	10,6	0,2	N.A.	N.A.
NSVA	Kvidinge	2 400	329	Rönne å	329	8	27	0,31	N.A.	N.A.
NSVA	Lundåkra	38 600	19 000	Öresund	N.A.	3,3	7,4	0,24	N.A.	N.A.
NSVA	Nyvång	28 000	7 500	Humblebäcken	N.A.	3,1	10,6	0,23	N.A.	N.A.
NSVA	Öresundsverket	54 208	125 000	Öresund	54 208	2,1	8,7	0,35	16,5	N.A.
NSVA	Röstånga	773 (anslutna)	500	Lilla Bäljane å	N.A.	3,4	15,9	0,2	17,4	N.A.
NSVA	Svalöv	3 780 (anslutna)	1 250	Svalövsbäcken	N.A.	4,6	11,4	0,07	N.A.	N.A.
NSVA	Torekov	13000 (anslutna)	5 400	Skälderviken	N.A.	3,8	8,2	0,13	N.A.	N.A.
Gotland	Klintehamn	10 000 design (normalt max 4 500)	3 120	Östersjön	3 112	6	23 597 kg/år	0,15	410 804 kg 2017	N.A.
Gotland	Slite	1 900	1 536	Östersjön	1 536	4,2	13 111 kg/år	0,22	179 188 kg 2017	N.A.
Gotland	Visby	60 000	9 072	Östersjön	9 065	3,9	9,8	0,19	2 226 666 kg 2017	N.A.
Luleå	Uddebo	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Kalmar ARV, 2015, Laholmbuktens VA, 2015, Hässleholms Vatten, 2017a, 2017b, NSVA, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2017e, 2017f, 2017g, 2017h, 2017i, Region Gotland, 2017a, 2017b, 2017c, VA SYD, 2017a, Wellsjö, 2017, Hässleholm Vatten, 2017c

TSS i vattnet och bör rimligen inte användas för att rena just TSS även om tekniken kan användas för ändamålet. I dessa fall är det bättre att välja en annan teknik för att minska mängden TSS och att använda det aktiva kolet för att avskilja mikroföroreningarna.

Samtliga användningsområden kräver även ett desinficerat vatten för att säkerställa att hantering av vattnet är säker ur smittskyddssynpunkt. Förutom membranprocesser utgör avancerade oxidationsprocesser så som ozonering samt UV och klorering effektiva barriärer för mikroorganismer. Både ozonering och UV minskar i effektivitet vid högre halter TSS och högre turbiditet (EPA, 1999, Heinicke et al., 2015, Mische et al., 2017), varför en förbehandling för dessa är önskvärd.

För användning av vattnet som kylvatten eller för tvätt av fordon bör kalciumkoncentrationen inte vara för hög. För tvätt av fordon rekommenderas

deras en maximal koncentration av kalcium på 17 mg/l, vilket är betydligt lägre än den koncentration som har uppmätts i utgående vatten för Sjölunda ARV. Dricksvatten hos användaren får enligt livsmedelsverkets riktlinjer innehålla maximalt 100 mg/l kalcium (SLVFS 2001:30). Koncentrationen kalcium och magnesium kan minskas med nanofiltrering och omvänd osmos men påverkas inte nämnvärt av övriga tekniker nämnda ovan. I vissa fall behöver därför installeras avhårdare på samma sätt som vid användning av dricksvatten som är för hårt för att användas direkt för dessa ändamål.

På samma sätt som för industriell användning av återvunnet avloppsvatten är det viktigt att bevattningstvattnet inom jordbruket är fri från smittspridande ämnen. Bevattningstvattnet bör även ha låga halter suspenderat material (TSS).

I fall där vattnet efter användning släpps i naturen, antingen genom att leda det till ett vattendrag, eller genom infiltration vid t.ex. bevattning och spolning av gator, bör även beaktas att vattnet inte bör innehålla ämnen som är skadliga för miljön. Detta kan innehålla metaller, näringsämnen och i vissa fall läkemedel. Dessa avskiljs delvis med ovan nämnda renings-tekniker, men det behöver avgöras från fall till fall hur stor denna avskiljning är och om den är tillräcklig.

Avancerad rening av avloppsvatten för återanvändning bör enligt ovan bestå av en serie reningssteg snarare än en särskild teknik. Baresel et al. (2015) har testat kombinationer av UF (både nedsänkt och trycksatt) med UV eller ozonering efter en konventionell vattenrening och visat att dessa klarar kraven ställda i de undersökta fallen av industriell användning av vattnet. För rening av vattnet för bevattning inom jordbruket räckte det med ett disk- eller sandfilter följt av desinfektion med UV (Baresel et al., 2015). Utöver seriekopplingen av olika reningssteg för att få rätt renings-effektivitet är det vanligt att installera multipla barriärer för att säkerställa att eliminera smittspridningsrisken. Detta kan antingen bestå av flera seriekopplade desinfektionssteg eller ett säkerhetssteg som används vid behov.

7 Legala aspekter

Återanvändning av vatten och andra cirkulära lösningar hamnar ofta mellan olika lagstiftningar, vilket försvårar implementeringen. Både EUs vattendirektiv (Direktiv 2000/60/EG, 2000) och avloppsdirektiv (Direktiv 91/271/EEG, 1991) indikerar dock att återanvändning av renat avloppsvatten önskas och ska främjas. Detta stycke syftar till att ge hjälp i generella tankar kring lagstiftning i området med fokus på VA-organisationer som vill kunna tillhandahålla renat avloppsvatten för industrier och lantbruk. Eftersom återanvändning av renat avloppsvatten är relativt nytt i Sverige har lagen inte testats särskilt mycket i ämnet och sannolikt behövs prejudikat för att förtydliga hur lagen bör tolkas.

I en produktionsprocess uppkommer, vid sidan av produkten, ett antal avfallsfraktioner som omfattas av avfallslagstiftningen. I avfallslagstiftningen regleras t.ex. befogenheter kring hantering och transport för att säkerställa att materialen hanteras på ett säkert och miljömässigt sätt. Enligt Miljöbalken (15 kap 1§) kan avfallsfraktioner istället klassas som biprodukter om de uppkommer i en produktionsprocess som syftar till att producera någon annan produkt, de kan användas direkt utan ytterligare behandling och de kan användas på ett miljömässigt bra och säkert sätt. En biprodukt regleras inte längre av avfallslagstiftningen, vilket medför större flexibilitet i hanterandet och handel. Ett avfall kan även klassas om enligt EUs end-of-waste-kriterier (EC 2008/98/EG, artikel 6). Enligt dessa kan ett avfall klassas om som biprodukt om det uppfyller följande villkor:

- Ämnet används vanligen för specifika ändamål.
- Det finns en existerande marknad eller behov för ämnet.
- Användningen är laglig.
- Användningen kommer inte att leda till signifikanta problem avseende miljö eller hälsa.

Samtliga kriterier behöver vara uppfyllda för att ett avfall ska kunna klassas om som biprodukt.

För biprodukter gäller inte avfallslagstiftningen utan samma regler som för produkter gäller. Detta kan innebära att ett ämne omfattas av t.ex. REACH (EC 1907/2006), EUs reglering för registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier.

Enligt vår förståelse bör avloppsvattnet som kommer till ett reningsverk anses som ett avfall. Detta innebär att ett avloppsreningsverk enligt dagens regelverk inte anses som en produktionsprocess och därför inte kan leda till varken produkter eller biprodukter. Renat avloppsvatten bör därför betraktas som ett avfall och avfallslagstiftningen bör gälla vid eventuell avyttring till tredje part. Ett alternativ är att klassa om vattnet enligt end-of-waste, varpå vattnet bör omfattas av REACH.

VA-huvudmän lyder under lagen om allmänna vattentjänster (LAV) (Lag 2006:412, 2006). Enligt LAV får VA-huvudmän endast ta på sig kostnader för att säkerställa sitt uppdrag. LAV utgör därmed inget hinder för VA-huvudmän att erbjuda en vattentjänst som innebär återvunnet avloppsvatten men denna måste finansieras på ett sätt som inte belastar VA-kollektivet med onödiga kostnader.

Allmänt gäller Miljöbalken för verksamheter som släpper ut vatten till en recipient och bör därför även appliceras för systemlösningar där återvunnet vatten leds ut i en recipient, t.ex. när återvunnet vatten används för naturvård.

Arbetsmiljöverkets regler specificerar inga särskilda regler för arbetet med renat avloppsvatten utan riskerna i samband med eventuella skadliga ämnen behöver bedömas för varje enskilt fall. Ur arbetsmiljösynpunkt är det framför allt viktigt att vattnet som personer riskerar att komma i kontakt med är fritt från smittbärande ämnen.

8 Kostnader

Kostnaden för återvunnet avloppsvatten är beroende av många faktorer. Den nödvändiga extra reningen innebär kostnader beroende på process, anläggningens storlek, kvalitetskraven samt inkommande vattenkvalitet. Kostnadssammanställningar bygger på antaganden om de yttre förutsättningarna varför det är svårt att hitta exakta siffror för att jämföra de olika reningsteknikernas kostnader. Här redovisas därför en generell kostnadssammanställning som främst visar hur de olika teknikerna förhåller sig till varandra vad gäller kostnader för reningen, se Figur 8.1. Totalt varierar produktionskostnaden för den extra reningen mellan 1 och 15 SEK/m³ vilket representeras av spannet från gult till rött i figuren. Här ingår följande uppskattningar från litteraturen: 9–15 SEK/m³ för omvänd osmos (Plappally och Lienhard V, 2013), 2,5 SEK/m³ för UF (Guo et al., 2014), 2,7 SEK/m³ för GAC (Mulder, 2015), 1,8 SEK/m³ för ozonering med efterföljande sandfiltrering (Mulder, 2015), 2 SEK/m³ för PAC (Mulder, 2015) och 0,13–0,25 SEK/m³ för UV-filtrering (installationen inte medräknad) (Heinicke et al., 2015). MF, UF och NF antas ligga inom samma kostnadsspann men öka något med minskad porstorlek. Dessa kostnadsangivelser bör betraktas som mycket ungefärliga då de utgår ifrån olika förutsättningar och dessutom har räknats om från olika valutor. Till detta kommer installationskostnad av ledningssystem som är beroende av markens egenskaper såväl som avståndet mellan produktion och användning av vattnet. I denna studie har fokus legat på industrier i nära anslutning till reningsverken för att minimera transportbehovet.

Process	Kostnadsgradering
UV	
CI	
GAK	
AOP (O ₃)	
PAK	
MF	
UF	
NF	
RO	

Figur 8.1

Gradering av kostnader för avancerad rening med olika tekniker (Plappally och Lienhard V, 2013, Guo et al., 2014, Heinicke et al., 2015, Mulder et al., 2015).

Ljus färg (gul) motsvarar lägre kostnad än mörk färg (röd).

Produktionskostnaden för dricksvatten i Sverige är väldigt låg, omkring 40 öre/m³.¹⁶ Denna beror på kvaliteten av råvattnet och varierar därför mycket i världen. I många länder utgör återanvändningen av renat avloppsvatten därför ett betydligt billigare alternativ än avsättning av havsvatten och i vissa fall även än rening av yt- och grundvatten (Plappally och Lienhard V, 2013).

VA-taxan i Sverige ligger mellan 21,6 och 78,7 SEK/m³ med ett genomsnitt på 48,6 SEK/m³. Dessa avser främst hushållens vattenförbrukning, medan priserna för vattenleverans till industrier inte begränsas av några bestämmelser.

Det ekonomiska incitamentet att använda återvunnet vatten istället för färskt dricksvatten består inte endast av inköpspriset. Även aspekter som leveranssäkerhet bör tas med i beräkningen. VA-huvudmän har som huvuduppdrag att försörja befolkningen med hushållsvatten. Detta innebär att leveranser till industrin inte prioriteras i fall då det råder vattenbrist. Industrier med hög vattenförbrukning kan då i värsta fall drabbas av att behövs minska eller stänga ner sin produktion, något som ofta är förknippat med höga kostnader. Detta drabbar ibland även industri som använder vatten direkt ur vattendrag, men där vattenuttag inte tillåts när vattennivån når en viss låg nivå. Avloppsvatten vid de kommunala reningsverken har ett stabilt grundflöde som har potentialen att utgöra en mer leveranssäker vattentillgång till industrin.

¹⁶ <https://www.svenskvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/>, 2019-07-03

9 Slutsatser

Det finns ett intresse för att se över alternativ till dricksvatten för industriell användning och bevattning inom jordbruk. Många aktörer arbetar redan idag på vattenbesparande åtgärder och möjligheter till intern återvinning av vatten. Utöver dessa åtgärder har vi upplevt en positiv inställning till användningen av återvunnet avloppsvatten hos de aktörer som vi har varit i kontakt med i samband med denna studie.

Endast få applikationer för vatten hos de tillfrågade industrierna är specifika och kräver skräddarsytt vatten. En övervägande andel av vattnet används istället för liknande applikationer och är därmed inte specifika för varje industri. Dessa inkluderar spolning av bilar, gator och ledningar, kylning, bevattning, rekreation och pannvatten. Dessa kräver framför allt ett partikelfritt vatten med låg halt suspenderat material. Vattnet behöver även vara bakteriefritt för att inte utgöra en smittorisk vid eventuell kontakt. Avancerad membran teknik som nanofiltrering och omvänd osmos lämpar sig för att avlägsna alla dessa föroreningar. Tekniken kräver dock förbehandling och stora mängder energi. Det är därför ofta mer lämpligt att använda filtermetoder, aktivt kolfilter (granulerat eller pulveriserat aktivt kol), mikrofiltrering eller ultrafiltrering för att avlägsna partiklar och suspenderat material, efterföljt av en desinfektion med ozon, UV eller klorering. Potential finns även att minska användningen av dricksvatten i avloppsreningsverken genom att byta till att använda återvunnet vatten för spolning, backspolning av filter och i polymerberedningen.

Det låga dricksvattenpriset i Sverige utgör en utmaning för produktionen av återvunnet vatten till ett konkurrenskraftigt pris. Priset för produktionen av återvunnet vatten varierar dock kraftigt för olika tekniker. Det är även aktuellt för många avloppsreningsverk att investera i avancerad rening för läkemedelsrester och andra mikro-föroreningar. I takt med att avancerad rening installeras minskar även glappet i kvaliteten på det utgående vatten från avloppsreningsverk och den vattenkvaliteten som behövs för olika användningsområden. Med detta minskar även den extra kostnad det innebär att återvinna vattnet.

Återanvändning av vatten regleras idag inte tydligt i lagen utan hamnar som många andra lösningar för cirkulär ekonomi mellan stolarna. Detta innebär utmaningar, men gör inte användningen av återvunnet avloppsvatten i industri och jordbruk omöjligt.

10 Referenser

Arbetskyddstyrelsen: Arbetskyddsstyrelsens författningssamling – högtryckssprutning, <https://av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/arbeten-med-hogtrycksstrale-afs1994-54.pdf>, 2019-04-16, 1994

Avgar, I.: Israeli water sector – key issues, The Knesset research information center, <https://m.knesset.gov.il/EN/activity/mmm/mmmeng250218.pdf>, 2019-11-06, 2018

Badvattenförordning: Badvattenförordning (2008:218), https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/badvattenforordning-2008218_sfs-2008-218, 2008

Baresel, C., Dahlgren, L., Lazic, A., de Kerchove, A., Almemark, M., Ek, M., Harding, M., Ottosson, E., Karlsson, J., Yang, J., Allard, A.-S., Magnér, J., Ejhed, H. och Björk, A.: Reuse of treated wastewater for non-potable use (ReUse), IVL report number B2219, 2015

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K. och Olshammar, M: Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten, IVL-rapport nr. C 235, 2017

Bartels, <https://www.waterworld.com/international/wastewater/article/16200627/reverse-osmosis-membranes-play-key-role-in-wastewater-reclamation>, 2019-06-24, 2006

Benström, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H. och Pinnekamp, J.: Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen – Teil 2, Korrespondenz Abwasser, Abfall, 63(4): 276-289, 2016

Bixio, D., Thoeye, C., Wintgens, T., Hochstrat, R., Melin, T., Chikurel, H., Aharoni, A. och Durham, B.: Wastewater reclamation and reuse in the European Union and Israel: Status Quo and Future Prospects, International Review for Environmental Strategies, 6(2): 251-268, 2006

Casey, E.B. och Tisdale, R.: \$22 billion for water reuse: Where are the opportunities for municipalities and business? WaterReuse webcast series, <https://watereuse.org/wp-content/uploads/2018/03/Reuse-Market-Webcast.pdf>, 2017

COM(2018) 337: Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om minimikrav för återanvändning av vatten, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF, med bilagor https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_2&format=PDF, 2018

Corbisiero, K.W.: The importance of carwash water quality, <https://www.carwash.com/importance-carwash-water-quality/>, 2019-04-11, 2017

Demeuse, M.T.: Production and application of hollow fibers, Handbook of Textile Fibre Structure, Woodhead Publishing Limited, 2009

Direktiv 2000/60/EG: God vattenkvalitet i Europa (EUs vattendirektiv), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM:l28002b>, 2000

Direktiv 91/271/EEG: Rådets direktiv 91/271/EEG om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse, <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledninga/Avlopp/Avloppsdirektivet-och-reningsverken/>, 1991

DOW Magazine juli 2011: http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0815/0901b80380815271.pdf?filepath=facilities/pdfs/...pdf...&fromPage=GetDoc, hämtad 16 augusti 2018

EC 1907/2006: Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1907/2006 om registrering, utvärdering, godkännande och begränsande av kemikalier (REACH), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&from=EN>, 2006

EC 2008/98/EG: Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG om avfall och om upphävande av vissa direktiv, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>, 2008

EPA: Wastewater technology fact sheet, Ultra-violet disinfection, <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf>, 2019-05-09, 1999

Feutrill, C., Kelly, J., van der Wielen, M. och Stevens, D.: Investigative tour of reclaimed water use for horticulture in Israel and California 2001, Australia: Horticultural Australia Ltd, 2001

Guo, T., Englehardt, J. och Wu, T.: Review of cost versus scale: Water and wastewater treatment and reuse processes, *Water Science and Technology*, 69(2):223–234, 2014

Heinicke, G., Jörgensen, P.E. och Eriksson, C.: Riskanalys av utsläpp från Ängelholms reningsverk Komplettering punkt nr. 3: Möjligheter att reducera risken för infektioner, 1(3):1–4, 2015

Helmer, R. och Hespanhol, I.: Water pollution control – A guide to the use of water quality management principles, WHO/UNEP, 1997

Hasselgren, K: Bevattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten, VAV AB, 1999

Hässelholms Vatten: Miljörapport 2017 Hästveda avloppsreningsverk, <http://www.hasselholmsvatten.se/pdf/MR-HAS2017.pdf> (2019-04-12), 2017a

Hässelholms Vatten: Miljörapport 2017 Vinslövs avloppsreningsverk, <http://www.hasselholmsvatten.se/pdf/MR-VIN2017.pdf> (2019-04-12), 2017b

Hässelholms Vatten: Miljörapport 2017 Vittsjö avloppsreningsverk, <http://www.hasselholmsvatten.se/pdf/MR-VIT2017.pdf> (2019-04-12), 2017c

- Ickson-Tal, N., Avraham, O., Sack, J. och Cikurel, H.: Water reuse in Israel – The Dan region Project: Evaluation of water quality and reliability if plant's operation, *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4): 231–237, 2003
- Ikehata, K. och Li, Y.: Ozone-based processes, *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*, sid 115–134, 2018
- Kalmar ARV: Miljörapport Kalmar avloppsreningsverk, https://www.kalmarvatten.se/sites/www.kalmarvatten.se/files/uploads/dokument/miljo-rapport_kalmar_avloppsreningsverk_2015_0.pdf (2019-04-12), 2015
- Kalmar Vatten: Sammanfattande slutrapport: Hållbart VA-system i Kalmar, 2019
- Kunz, P.M. och Bainsczyk, F.: Exemplarische Gefährdungsbeurteilung (Ergänzung) und Massnahmen zur Eingrenzung der Gefährdung der Mitarbeiter, der Kunden und der Umgebung einer Autowaschanlage nach Biostoffverordnung, sid 1-15, http://gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/24315/GefBeU_Autowaschanlage.pdf, 2019-04-16
- Kärcher: Högtryckstvätt, <https://www.kaercher.com/se/home-garden/hoetryckstvaettar/k-7-premium-full-control-plus-flex-13171380.html>, 2019-04-16
- Lag 2006:412: Lag (2006:412) om allmänna vattentjänster, https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2006412-om-allmanna-vattentjanster_sfs-2006-412, 2006
- Laholmsbuktens VA: Västra strandens avloppsreningsverk, Miljörapport 2015, http://www.lbva.se/download/18.2c411bd415336349cad81757/1465902765806/Västra_stranden_MR_2015.pdf (2019-04-11), 2015
- López-Ramírez, J.A., Márquez, D.S. och Quiroga Alonso, J.M.: Comparison studies of feedwater pre-treatment in a reverse osmosis pilot plant, *Desalination* 144: 347-352, 2002
- Maaß, O. och Grundmann, P.: Governing transactions and interdependencies between linked value chains in a circular economy: The case of wastewater reuse in Braunschweig (Germany), *Sustainability (Switzerland)*, 10(4): 1–29, 2018
- Mattsson, E., Andersson, J., Sabel, U., Jakowlew, G., Johansson, T. och Bollmark, L.: Jordbrukets behov av vattenförsörjning, Jordbruksverket rapport 2018:18, 2018
- Metcalf och Eddy: *Wastewater engineering – Treatment and resource recovery*, 5th edition, ISBN 978-0-07-340118-8, 2014
- Miehe, U., Stapf, M. och Schumann, P.: Studie über Effekte und Nebeneffekte bei der Behandlung von kommunalem Abwasser mit Ozon (November), sid 93, 2017

Mierzwa, J.C., Rodrigues, R. och Teixeira, A.C.S.C.: UV-hydrogen peroxide processes, advanced oxidation processes for wastewater treatment, *Emerging Green Chemical Technology*, 2018

Moona, N, et al.: Partial renewal of granular activated carbon biofilters for improved drinking water treatment, *The Royal Society of Chemistry*, 4: 529–538, 2018

Mulder, M., Antakyali, D., Ante, S.: Costs of Removal of Micropollutants from Effluents of Municipal Wastewater Treatment Plants - General Cost Estimates for the Netherlands based on Implemented Full Scale Post Treatments of Effluents of Wastewater Treatment Plants in Germany and Switzerland. STOWA and Waterboard the Dommel, The Netherlands 2015

MultiReUse: <https://water-multi-reuse.org/pilotanlage/>, 2019-06-27, 2019a

MultiReUse: MULTI-ReUse: Modulare Kombination von Technologien zur Wasserwiederverwendung, <https://water-multi-reuse.org/ergebnisse/>, 2019-06-27, 2019b

NSVA: Kågerödsavloppsreningsverk Svalöv Miljörapport 2017, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/smp-mr-kagerod-2017-.pdf> (2019-04-12), 2017a

NSVA: Lundåkraverket Landskrona, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-2017-mr-landskrona.pdf> (2019-04-12), 2017b

NSVA: Miljörapport 2017 Ekeby avloppsreningsverk, Bjuv, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-ekeby-2017.pdf> (2019-04-12), 2017c

NSVA: Miljörapport 2017 Kvidinge avloppsreningsverk, Åstorp, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-kvidinge-2017.pdf> (2019-04-12), 2017d

NSVA: Miljörapport 2017 Nyvångs avloppsreningsverk, Åstorp, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-nyvang-2017.pdf> (2019-04-12), 2017e

NSVA: Miljörapport 2017 Öresundsverket Helsingborg, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-ov-2017.pdf> (2019-04-12), 2017f

NSVA: Miljörapport år 2017 Torekovs avloppsreningsverk Båstads kommun, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/textdel-torekov-2017.pdf> (2019-04-12), 2017g

NSVA: Röstångas avloppsreningsverk Svalöv Miljörapport 2017, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/smfo-miljorapport-2017-rostanga.pdf> (2019-04-12), 2017h

NSVA: Svalövs avloppsreningsverk Svalöv, <https://www.nsva.se/globalassets/dokument/miljorapporter-reningsverk/2017/mr-2017-svalov-.pdf> (2019-04-12), 2017i

Persmark, M.: Återanvändning av kommunalt avloppsvatten – En undersökning av att återanvända utgående renat avloppsvatten genom industriell symbios eller jordbruksbevattning, VA SYD, 2018

Plappally, A.K. och Lienhard V, J.H.: Costs for water supply, treatment, end-use and reclamation, *Desalination and Water Treatment*, 51(1–3): 200-232, 2013

Region Gotland: Region Gotland – Miljörapport – Klinte Robbjäns 1:64, <https://www.gotland.se/100232> (2019-04-12), 2017a

Region Gotland: Region Gotland – Miljörapport – Slite avloppsreningsverk, <https://www.gotland.se/100229> (2019-04-12), 2017b

Region Gotland: Region Gotland – Miljörapport – Pinjen 1 Visby, <https://www.gotland.se/95334> (2019-04-12), 2017c

Roccaro, P.: Treatment processes for municipal wastewater reclamation: The challenges of emerging contaminants and direct potable reuse, *Current opinion in Environmental Science & Health*, Elsevier Ltd, 2: 46–54, 2018

Rothenberger, S.: Wastewater reuse in Arab countries – Comparative compilation of information and reference list, ACWUA Report, 2010

San Diego Water Authority: Technical information for cooling towers using recycled water, <https://sdcwa.org/sites/default/files/files/water-management/recycled/techinfo.cooling.towers.pdf>, 2019-05-08, 2009

Sharma, S.K., och Sanghi, R.: Wastewater reuse and management, 2013

Sidan, L., Weiping, C., Weiling, Z., Yupeng, F. och Wentao, J.: Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges, *Journal of Environmental Sciences*, 39, 86–96, 2016

Sjökvist, K och Lindvall, K: Bevattning med avloppsvatten enligt Gotlandsmodellen, Gaturkontoret Gotlands kommun,

SLVFS 2001:30: Statens livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten

SVU: Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk, 2009

USEPA: Potable reuse compendium, sid 203, https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf (2019-03-14)

Uslu, G., Demirci, A. och Regan, J.M.: Disinfection of synthetic and real municipal wastewater effluent by flow-through pulsed UV-light treatment system, *Journal of Water Process Engineering*, Elsevier Ltd, 10: 89–97, 2016

Van Houtte, E. och Verbauwheide, J.: Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish coast, *Desalination* 218(1–3): 198–207, 2006

VA SYD: Sjölunda avloppsreningsverk Malmö Miljörapport 2017, 2017a

VA SYD: Klorid inkommande Sjölunda 2011 – 2018-12-14, intern data VA SYD, 2018a

VA SYD: Sammanställning udda analyser Sjölunda 2018-12-14, intern data VA SYD, 2018b

Voutchkov, N: Membrane filtration in Pretreatment for reverse osmosis desalination, sid 145–182, 2013

Wellsjö, L.: Miljörapport Ryaverket 2017, <https://www.gryaab.se/wp-content/uploads/2018/04/Miljörapport-Ryaverket-2017-ver.1.3.pdf> (2019-04-12)

Wintgens, T. och Hochstrat, R.: Municipal waste water reuse in EU: Trends, markets, guidelines, engineered and natural solutions, International Ozone Symposium at Wasser Berlin, <http://pakab.co/Files/1/1-7.pdf>, 2017

Worch, E.: Adsorption Technology in Water Treatment, 2012

Xu, Z., Liu, Z., Zhang, Y. och Zhang Z.: The experiment investigation of cooling water fouling mechanism-associated water quality parameters in two kinds of heat exchangers, *Heat Transfer Engineering*, 37(3–4): 290–301, 2016

Yi, L., Jiao, W., Chen, X. och Chen, W.: An overview of reclaimed water reuse in China, *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1585–1593, 2011



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se