

## 6. Bilaga

### 6.1 Förklaringar till Figur 2 och Figur 3 i rapporten

Figur 2 ger en schematisk beskrivning av vattnets väg från vattenverk till hushåll relativt olika ämnen som återfinns i vatten såsom fosfor, kväve och läkemedel angivna i procent. Där det är möjligt har vi i figuren angett dagliga mängder av olika flöden och respektive ämnen enligt en procentuell fördelning. Merparten av dessa uppgifter baseras på referensdata och vid avsaknad av dessa har särskilda antaganden varit nödvändiga och i dessa fall anges vilka begränsningar som råder. För att tydliggöra de antaganden och begränsningar som förekommit, beskrivs detta nedan tillsammans med använda referenser och eventuella antaganden som varit nödvändiga. För några av uppgifterna återfinns det även information i framför allt Delsyntes 1 i bilagan 6.2.

#### Förklaringar till Figur 2

##### **Vattenverk**

- Dricksvattenproduktion: Baserat på angivna förluster på ca 20 % i ledningsnätet (SCB 2017) och en vattenförbrukning på 140 l per person och dygn beräknades en produktion på 170 l per person och dygn. Detta avser endast produktion till hushåll. Dricksvattenverk levererar även en viss mängd vatten till industrin och offentlig verksamhet, vilken inte är redovisad i Figur 2 (se Delsyntes 1 för mer information).

##### **Hushåll**

- Vatten: Vattenförbrukning på 140 l per person och dygn baseras uppgifter från Svenskt Vatten (2019), även om SCB (2017) anger en något högre genomsnittlig förbrukning per person och dygn på 157 l. Sju procent (10 l) av detta vatten antas hamna utanför avloppet, då det används för matlagning, förtäring eller avdunstas (Svenskt Vatten, 2019).
- Avlopp: Fördelning av hur vattnet används i hushållet varierar något mellan olika källor men uppgiften om hur avloppsvatten fördelas på hushållsnivå baseras främst på Svenskt Vatten (2019).
- Fosfor: Uppskattningen av mängden fosfor baseras på relativt gamla referenser från SLU (1998) och Naturvårdsverket (1995, 2013), som anger utsläpp på ca 2,1 g totalfosfor per person och dygn varav ca 1,5 g återfinns i svartvatten medan resten kommer från gråvatten. Andra referenser som exempelvis Jönsson et al. (2005) anger något lägre utsläpp. På grund av ändrade kostvanor bedöms andelen fosfor i urin kunna öka till ännu mer än de 50 % som anges i Figur 2. Fördelningen i gråvatten baseras på antagandet att fosfor i tvättmedel har fasats ut och att huvudkällan för fosfor således kommer från diskvatten och matrester. Endast relativt små mängder, ca 2 %, antas komma från tvätt respektive dusch/bad.

- **Kväve:** Likt fosfor, är uppskattningen av fördelningen för kväve baserat på relativt gamla referenser från SLU (1998) och Naturvårdsverket (1995, 2013). Dessa anger ett utsläpp på ca 13,5 g totalkväve per person och dygn, varav den största delen kommer från svartvatten och endast en mindre del från diskvatten och matrester. Även här anger andra referenser som exempelvis Jönsson et al. (2005) något lägre utsläpp eller fördelning mellan olika avloppsfraktioner (Ostermeyerr et al., 2022; se även Delsyntes 1 i bilagan 6.2).
- **COD:** Uppskattningen av den kemiska energin i olika avloppsfraktioner baseras på Jönsson et al. (2005) som anger utsläpp på ca 50 g COD per person och dygn varav en liten del finns i urin och resten fördelas lika mellan fekalier och gråvatten. Diskvatten antas stå för merparten av den kemiska energin i gråvattenfraktionen på grund av matrester och tömning av utgångna flytande matvaror. Energi som kan utvinnas t.ex. som biogas motsvarar ca 0,25 kg CH<sub>4</sub>/kg COD, vilket motsvarar ca 3 kWh/kg COD.
- **Värmeenergi:** Angiva värden för värmeenergin baseras på uppgifter i Arnell et al. (2022) och avser värmeenergin som återfinns från användning främst vid dusch/bad samt tvätt och disk. Värmeenergin bedöms vara fem gånger högre i hushållspillvatten än den kemiskt bundna energin i form av organiskt material (COD) och har sitt ursprung i uppvärmt tappvatten, från bland annat diskmaskin, tvättmaskin och dusch.

### **Avloppsreningsverk**

- **Spillvatten:** Den angivna andelen av 52 % tillskottsvatten bygger delvis på SCB (2017) och en utvärdering av data för samtliga svenska avloppsreningsverk enligt miljörapporter och SMP-data (IVL, inte publicerade). Slutsatsen från dessa var att ca 140 m<sup>3</sup> spillvatten per ansluten person och år behandlas i genomsnitt vid svenska avloppsreningsverk alltså totalt ca 380 liter per person och dag för spillvatten. Med en viss andel industrispillvatten kan därmed mängden tillskottsvatten uppskattas till ca 60 %. Detta är högre än medelvärdet på 43 % som anges av Clementson et al. (2020), men som dock motsvarar ett värde baserat på ett fåtal anläggningar. Även i denna undersökning rapporteras dock ett spann på 20 till 70 % för tillskottsvatten. För de flesta reningsverk varierar även mängden tillskottsvatten mellan olika år.

### **Förklaringar till Figur 3**

- **Läkemedel:** För att beräkna andelen läkemedel som återfinns i olika avloppsfraktioner har vi valt att endast fokusera på ett antal vanligt förekommande substanser. Av dessa framgår det att det är förekomsten i toalettvattnen som blir relevant. Samma ämnen förväntas inte förekomma i någon större utsträckning i vatten varken från bad, dusch eller kök. I en studie av Levin med flera (2016, och som citeras i Jönsson red. (2020)) framgår det tydligt att läkemedel återfinns i större utsträckning i urin

jämfört med fekalier, undantaget några ämnen. Med utgångspunkt från denna data, och när hänsyn endast tagits för ämnena oxazepam, citalopram, sulfamethoxazol, karbamazepin och atenolol, har förekomsten av läkemedel i urin respektive fekalier uppskattats mot en daglig volym för urin respektive fekalier på 1,2 respektive 0,15 liter. Fördelningen av dessa läkemedel har beräknats till att förekomma med 98 % i urin respektive 2 % i fekalier. Den dagliga mängden läkemedel har beräknats utifrån samma grupp av ämnen. Om underlagsdata hade identifierats för ibuprofen, naproxen och paracetamol, är det troligt att de beräknade mängderna varit högre.

- **Metaller:** För metaller avses här kadmium, koppar, kvicksilver, krom, nickel och zink. Fördelningen av dessa i de olika avloppsfraktionerna har baserats på en äldre studie från 2002 (Drangert & Köhler) som genomfördes i Hammarby Sjöstad. För att beräkna halterna av metaller i urin, användes data för kadmium, krom och jod som mätts i urin bland svenska gravida kvinnor i Uppsala (Gyllenhammar et al., 2022). Någon information om övriga metaller har inte identifierats och fördelning och mängder som redovisas i Figur 2 är därför begränsade till dessa ämnen. Den beräknade fördelningen är baserad på en medelhalt för de omnämnda metallerna och angivet för svart- respektive gråvatten enligt angivna indelningar i Figur 2.
- **PFAS:** Uppgifter om förekomst av PFAS i olika avloppsfraktioner är begränsade. För att beräkna presenterade mängder och fördelning av PFAS i Figur 2 har en rad antaganden behövts göras medan några uppgifter baserats på ett fåtal studier. Primärt är det framför allt halter av PFOS och PFOA som utnyttjats i beräkningarna, dessa ämnen återfinns i flest studier och är också vanligt förekommande i vår miljö relativt andra PFAS-ämnen. Det underlag som fanns avsåg halter i urin, blod och fekalier. Dessa halter utnyttjades för bestämning av halter i svartvatten, data är upphämtad från olika populationer där mätning har förekommit såsom en exponerad grupp i Kallinge från Fletcher et al. (2022) och flera populationer i Europa som studerades och refererades i Bjerregaard-Olesen (2016). Underlag för halter av PFAS-ämnen i tvättvatten, från kök eller bad och dusch har inte identifierats. Antagna halter för PFAS-ämnen är därför ansatta till att vara minsta tillåtna halt enligt dricksvattendirektivet på 4 ng PFAS4/l, som inkluderar PFOA, PFOS, PFHxS och PFNA. PFAS finns också tillsatt i vanliga hushållskemikalier som spolglans, rengöringsmedel och kosmetika. Det är troligt att PFAS-mängden påverkas av tvätt av goretexkläder och vattenimpregnerade textilier, men någon sådan information har inte hittats och därmed inte inkluderats i siffrorna.
- **Mikroplaster:** Beräknat mängd och fördelning baseras på uppskattningar från Magnusson et al. (2016). Emissioner kommer främst från tvätt av kläder men även olika hygienprodukter som tvål innehåller ofta mikroplaster som friges vid användning. Mikroplaster från inomhusmiljön

hamnar dessutom i svartvatten och gråvatten genom städvatten som töms i dessa.

- **Fekala bakterier:** Som indikator för fekala bakterier används koprostanol (coprostanol - COP) baserat på Ottoson (2004). Urin har antagits vara steril och eftersom andelen från olika gråvattenfraktioner bedöms som väldigt liten, har fraktionen för bakterier och virus angivits utan vidare uppdelning i Figur 2. Angiven mängd baseras också på Ottoson (2004) och beräknades utifrån en medelvattenförbrukning på 150 l/pe,d.

## Referenser

- Arnell, M., Saagi, R., Wärrf, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Bjerregaard-Olesen, C., Bach, C.C., Long, M., Ghisari, M., Bech, B.H., Nohr, E.A., Henriksen, T.B., Olsen, J., Bonefeld-Jørgensen, E.C. 2016. Determinants of serum levels of perfluorinated alkyl acids in Danish pregnant women. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(8), 867-875.
- Clementson, I., Alenius, E., Gustafsson, L.G., 2020. Tillskottsvatten i avloppssystem – nya tankar om nyckeltal. *Svenskt Vatten, Rapport 2020-13*.
- Drangert, J-O., och Köhler, H., 2002, Hammarby Sjöstad – miljöföreställningar och verkligheter (Hammarby Sjöstad – environmental perceptions and realities), Stockholm Vatten, projektpublikation nr 28.
- Fletcher, T., A. Andersson, Y. Li, Y. Xu, C.H. Lindh, A. Kärrman, and K. Jakobsson, 2020, The relative importance of faecal and urinary excretion of PFAS and implications for epidemiological studies. *ISEE Conference Abstracts, 2022*.
- Gyllenhammar, I., Lundh, T., Hedvall Kallerman, P., Edgar, D., Lignell, S., 2022, Concentrations of cadmium, cobalt, chromium, manganese, nickel, and iodine in urine from first-time mothers in Uppsala, Sweden: temporal trends 2009-2020, Livsmedelsverket, NV-00653-18.
- Jönsson, H. (red), 2020, Läkemedel, PFAS och mikroplaster i avlopp – kunskapssammanställningar om provtagning, förekomst, effekter och uppströmsåtgärder, Energi och teknik 106, Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala (SLU).
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model. *Urban Water Report 2005:6*.
- Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J., Voisin, A. 2016. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment 89.
- Naturvårdsverket 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll? Rapport 4425.
- Naturvårdsverket 2013. Formulering av villkor och krav för utsläpp från avloppsreningsverk – vägledning. 2013-04-23.
- Ostermeyerr, P., Capson-Tojo, G., Hülsena, T., Carvalho, G., Oehmen, A., Rabaey, K., Pika, I. 2022. *Resource Recovery from Water: Principles and Application*. Ilje Pikaar, Jeremy Guest, Ramon Ganigué, Paul Jensen, Korneel Rabaey, Thomas

Seviour, John Trimmer, Olaf van der Kolk, Céline Vaneeckhaute, Willy Verstraete.  
<https://doi.org/10.2166/9781780409566>

Ottoson, J. 2005. Comparative analysis of pathogen occurrence in wastewater – management strategies for barrier function and microbial control. Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), TRITA-LWR PhD Thesis: 1021.

SCB 2017. Vattenanvändningen i Sverige 2015. MIR 2017:1.

SLU 1998. Växtnäring från enskilda avlopp, personekvivalenter. Institutionen för miljöanalys, <http://info1.ma.slu.se/Miljotillst/Eutrofiering/Pers-ekv.ssi> [2022-08]

Svenskt Vatten. (2019). Dricksvattenfakta. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/> [2022-08-16]

## 6.2 Delsynteser

Delsyntes 1: Tillgång, behov, dagens återbruk och framtidens potential (avsnitt 2.1)

- Delsyntes 1a: Vatten
- Delsyntes 1b: Näringsämnen
- Delsyntes 1c: Energi
- Delsyntes 1d: Andra resurser

Delsyntes 2: Tekniker och system (avsnitt 2.2)

- Delsyntes 2a: Vatten
- Delsyntes 2b: Näringsämnen
- Delsyntes 2c: Energi
- Delsyntes 2d: Andra resurser

Delsyntes 3: Existerande policy, lagar och styrdokument (avsnitt 2.3)

Delsyntes 4: Acceptans, risker och verktyg (avsnitten 2.4 och 2.5)

- Delsyntes 3a: Acceptans
- Delsyntes 3b: Risker
- Delsyntes 3c: Verktyg

Delsyntes 5: Möjliga framtidsscenarier för återvinning och återanvändning av avloppsresurser (kapitel 3)



# Delsyntes 1a: VATTEN

## Tillgång, behov, dagens återbruk och framtidens potential

I denna delsyntes presenterar vi tillgång och behov av framför allt sötvatten i Sverige. Med tillgängliga data har vi försökt beskriva regionala skillnader och hur tillgång respektive behov varierar i tid och rum, samt hur de påverkas av klimatförändringarna. Syftet med denna sammanställning är att hitta tillfällen, verksamheter och regioner då återanvändning av vatten kan vara lämpligt för att överbrygga skillnader mellan behov och tillgång.

Denna delsyntes består av två delar; projektgruppens samlade bedömning och kunskapsunderlaget för delsyntesen. I projektgruppens samlade bedömning listas huvudpunkter som projektgruppen vill lyfta fram som viktiga aspekter kopplat till vattenanvändning och vattenåtervinning. I kunskapsunderlaget presenteras den litteratur som ligger till grund för dessa punkter.

## 1 Sammanfattning

Sverige har i ett europeiskt och internationellt perspektiv mycket god tillgång på vatten som kan användas för dricksvattenproduktion, bevattning och för industriändamål. Dock förekommer det områden med brist på lättillgängligt färskvatten under perioder av året. Dessa områden förväntas bli fler i och med klimatförändringarna och relaterades effekter som t.ex. brunifiering.

För verksamheter som konsumerar vatten i dessa områden finns det incitament att återvinna spillvatten, vilket idag görs i mycket liten omfattning i Sverige. I och med att reningskraven skärps på reningsverken, minskar glappet mellan kvalitet på renat spillvatten och råvatten, vilket ökar möjligheterna för att återvunnet vatten blir attraktivt och konkurrenskraftigt. Att återvinna renat spillvatten till dricksvattenkvalitet inom kommunalt verksamhetsområde är också ett alternativ, men den svenska hushållskonsumtionen är mycket hög i ett internationellt perspektiv. Detta innebär att besparing av vatten för att hantera en vattenbrist är mer realistiskt än återvinning förutom i undantagsfall.

Internationellt är bevattning den största konsumenten av färskvatten medan industri och hushåll utgör huvudanvändaren i Sverige. Bevattning i jordbruket är bara en stor konsument i vissa områden i Sverige, exempelvis i vissa delar av Skåne.

Klimatförändringarna spås öka behovet av bevattning och bevattning med spillvatten för med sig synergieffekter då renat spillvatten innehåller näringsämnen. För bevattning krävs dock infrastruktur för att matcha behov och tillgång, särskilt i Sverige där bevattning sker intermittent vid behov.



## Innehåll

1	Sammanfattning .....	1
2	Projektgruppens samlade bedömning .....	2
2.1	Tillgång på vatten .....	2
2.2	Behov av vatten .....	2
2.3	Dagens återbruk av vatten.....	3
2.4	Återbrukspotential för vatten .....	3
3	Kunskapsunderlag för delsyntesen.....	4
3.1	Färskvatten som resurs .....	4
3.2	Spillvatten som vattenresurs .....	4
3.3	Övergripande vattenbehov och -användning i Sverige .....	5
3.3.1	Kommunal och enskild vattenanvändning .....	6
3.3.2	Hushållets vattenanvändning.....	7
3.3.3	Industrins vattenanvändning .....	7
3.3.4	Jordbrukets vattenanvändning.....	8
3.4	Trender .....	8
3.5	Tillgång vs. behovet av vatten .....	9
3.6	Internationellt perspektiv .....	10
3.7	Rekommendationer relaterade till delsyntesen.....	10
4	Referenser.....	11

## 2 Projektgruppens samlade bedömning

### 2.1 Tillgång på vatten

Sverige använder endast 1 % av den totala förnybara vattentillgången årligen. Många vattenförekomsters kvalitet påverkas negativt av mänskliga aktiviteter, vilket leder till att cirka 50 % av landets sjöar och vattendrag inte klarar kraven för god vattenstatus.

Klimatförändringarna förväntas medföra en ökad risk för att vattentäkter förorenas, eftersom den mikrobiella tillväxten ökar när medeltemperaturen stiger och att frekvensen av bräddningar i avloppsledningsnät ökar vid ökad skyfallsfrekvens. Generellt förväntas vattentillgången öka, förutom i sydöstra Sverige, där säsongsvariationer med antal dagar med låg vattenföring och låga grundvattennivåer beräknas öka kraftigt. Detta kan leda till begränsningar av sötvatten för dricksvattenproduktion. Obalansen i vattentillgång över årsperioder kommer sannolikt att öka, vilket kan leda till ökad konkurrens om vattenresurserna. Vattenförekomster på många platser riskerar att förorenas eller överexploateras.

### 2.2 Behov av vatten

Störst behov av vatten i Sverige står industrin för, med 61 %, som huvudsakligen täcks via direktuttag från olika vattenförekomster (yt-, grund-, och havsvatten). Endast en mindre del utgörs av kommunalt dricksvatten, men fler industrier förväntas vilja ha kommunalt vatten då föroreningar i naturliga vattenförekomster kan påverka kvaliteten. Endast 3 % av det totala sötvattenuttaget går till jordbruk, men regionala skillnader finns, med Skåne som en stor konsument. Det kommunala dricksvattnet används främst av hushåll och kommuner, men en stigande andel går till industrin även om det inte ingår i kommunernas uppdrag att





leverera vatten till industrin. I vissa turistregioner, som Gotland och Österlen, ökar vattenbehovet kraftigt under sommaren på grund av ett mångdubblat invånarantal. Stora förluster i distributionssystemet (cirka 25 %) bidrar till behovet av effektivare vattenhantering. Generellt saknas data kring vattenbehov och användning i Sverige, vilket försvårar hållbar vattenhantering.

### 2.3 Dagens återbruk av vatten

Det finns inget signifikant direkt återbruk av renat spillvatten mellan olika aktörer registrerat idag, och endast cirka 0,003 % av den totala vattenanvändningen sker med återvunnet vatten inom industrin. Dock finns olika projekt för ökat återbruk, som till exempel processvatten från en kycklingfabrik i Mörbylånga kommun. Det förekommer visst återbruk inom avloppsreningsverk för intern användning, som spolning och annan lokal användning, men detta framgår inte av statistiken. Recirkulation av processvatten i olika processindustrier mäts inte. Potentialen för svenskt näringsliv att i större omfattning recirkulera vatten bedöms vara stor. Så kallade industrikombinat där avlopp från en industri kan nyttiggöras som processvatten i en annan närliggande industri är vanliga i centrala och västra Europa men förekommer sällan i Sverige.

### 2.4 Återbrukspotential för vatten

Eftersom spillvatten utgörs av använt dricksvatten och tillskottsvatten, är tillgången på vatten för återbruk generellt alltid högre än dricksvattenbehovet. Mängden spillvatten som finns för återbruk beror på befolkningens storlek i ett upptagningsområde. Återvunnet vatten kan vara ett alternativ vid försämring av kvaliteten i vattenresurserna, som brunifiering av ytvattenförekomster. Skärpta reningskrav för mikroföreningar kan skapa bättre förutsättningar för återbruk av renat spillvatten vid flera reningsverk. Ett utökat återbruk kan också minska uttaget från vattenförekomster som påverkas negativt av klimatförändringarna, vilket ökar robustheten och resiliensen hos dricksvattenförsörjningen. Risken för vattenbrist på grund av teknisk kapacitetsbrist kan minskas med ökat återbruk för bevattning, vilket reducerar dricksvattenbehovet. Här kan även uppsamling av regnvatten användning för komma in. Användning av återvunnet vatten inom industrin och för toalettspolning kan minska behovet av dricksvatten. Lokala vattenbrister i enskilda brunnar kan också minskas med tillförsel av renat spillvatten till grundvatten efter långt gående rening, vilket skulle öka robustheten för enskilda fastigheter. Slutligen kan ett ökat återbruk och användning av avancerade reningstekniker minska belastningen på vattenmiljön genom minskade föroreningar. Detta skulle inte bara öka resiliensen och robustheten för samhället utan även för vattenmiljön och de relaterade ekosystemtjänsterna, med naturliga vattenförekomster som kan fungera som backupsystem för dricksvattenförsörjningen.



## 3 Kunskapsunderlag för delsyntesen

Om inget annat anges så ligger data från SCB (2017, 2020, 2021), SGU 2018 och Svenskt Vatten (2019) till grund för kunskapsunderlaget nedan.

### 3.1 Färskvatten som resurs

Sverige tar ut drygt 1 % av den totala förnybara årliga vattentillgången, som är cirka 200 miljarder kubikmeter sötvatten, för användning inom hushåll, jordbruk och industri. I jämförelse med andra europeiska länder är detta bland de lägsta nivåerna i Europa, men regionala och lokala skillnader finns, där uttaget på vissa platser är betydligt större än genomsnittet.

Produktionen i kommunala vattenverk baseras på grundvatten (23 %), ytvatten (60 %) och konstgjort grundvatten (17 %). Hur klimatförändringar påverkar den naturliga vattenbalansen är svårt att förutsäga på grund av vattnets komplexa kretslopp, brister i modeller och brist på kunskap om extrema väderhändelser. Den drastiska utvecklingen på den europeiska kontinenten under 2022 har visat att vattentillgången kan förändras mycket snabbt och dramatiskt.

Klimatförändringar påverkar grundvattnet genom förändringar i nederbörd och temperatur. Enligt SGU (2018) förutspås att grundvattenbildningen i södra Norrland kan öka med cirka 15 % per år på grund av ökad nederbörd. Å andra sidan förväntas grundvattnets lägstanivåer minska i södra Sverige då perioder med sjunkande nivåer förlängs. I sydöstra Sverige kan grundvattennivåerna minska med 5 - 15 % över året, vilket påverkar både långsamreagerande och snabbreagerande akviferer. Sjunkande grundvattennivåer kan leda till ökad föroreningshalt i vattnet, irreversibla sättningar som minskar akviferernas kapacitet, och minskad förmåga att släppa igenom nederbörd, vilket ytterligare minskar grundvattenbildningen. För enskilda brunnar innebär minskade grundvattennivåer risk för sinande brunnar, försämrad vattenkvalitet och ökad risk för saltvatteninträngning. Stigande havsnivåer i södra Sverige kan orsaka ökad saltvatteninträngning i kustnära grundvattenmagasin. Norra Sverige har fortfarande landhöjning som kompenserar för stigande havsnivåer.

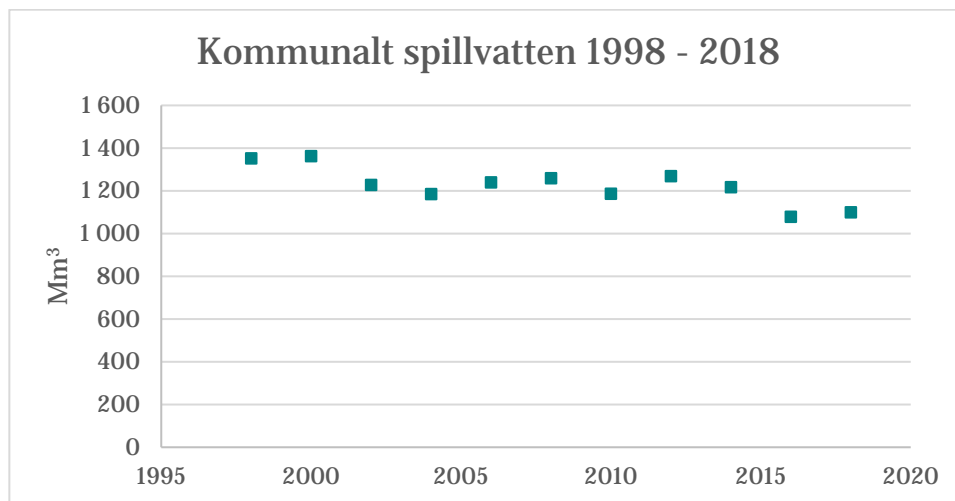
Ytvatten påverkas också av grundvattnets nivåer, eftersom grundvatten står i direkt kontakt med ytvatten i vattendrag och sjöar. Klimatscenarioer indikerar att vattenflödena kan bli lägre och perioder med låga flöden längre under somrarna (IVA 2021). Frekvensen och magnituden av kraftig nederbörd förväntas öka, vilket tillsammans med torrare jordar med dålig genomsläpplighet kan leda till temporärt kraftiga flöden i vattendrag. Detta kan också öka risken för översvämningar och avrinning från förorenade eller näringsrika områden, och bräddningar från avloppsledningsnät, vilket påverkar vattenkvaliteten. Förändringar som brunifiering av råvatten och ökad förekomst av virus och parasiter kan kräva förbättrade reningsprocesser för att säkerställa vattenkvaliteten.

### 3.2 Spillvatten som vattenresurs

År 2018 släppte kommunala reningsverk över 2 000 person-ekvivalenter (pe) ut 1 100 Mm<sup>3</sup> renat spillvatten. Under de senaste åren har spillvattenproduktionen från kommunala reningsverk minskat något (Figur 1), vilket kan ses i Statistikcentralens rapport från 2020.



Denna minskning beror sannolikt på minskad användning av dricksvatten och bortkoppling av dagvatten från avlopps nätet.



Figur 1. Volymen kommunalt spillvatten över tid.

Om renat spillvatten kan användas för återbruk beror på lokalisering av reningsverket, hur långtgående rening avloppsvattnet har genomgått, samt kraven från mottagande verksamhet. Lämpliga användningsområden för renat spillvatten utanför jordbrukssektorn inkluderar kylning, rekreation och spolning, såsom bevattning i parker och spolning av gator, tvätt av fordon, användning som pannvatten, internt på avloppsreningsverken, rengöring inom livsmedelsindustrier, eller som processvatten.

För de flesta av dessa användningsområden krävs partikelfritt vatten med låga halter av näringsämnen som håller badvattenkvalitet (Hoyer, 2019). Möjligheten att återanvända vatten ökar med mer långtgående rening. Idag skärps kraven för många kommunala reningsverk, vilket resulterar i mer ambitiösa reningsprocesser och därmed fler möjligheter till återanvändning. Ett generellt krav på avancerad rening för reningsverk över 100 000 pe och mindre reningsverk efter behov, enligt förslaget på nytt avloppsdirektiv, skulle ytterligare minska glappet mellan kvaliteten på utgående spillvatten och kvaliteten på återvunnet vatten.

För återanvändning inom jordbruket krävs också långtgående rening för att avskilja partiklar och patogener i vattnet, medan kvarvarande fosfor och kväve kan vara fördelaktigt för denna applikation. Detta innebär att återbruk av renat spillvatten inte bara bidrar till resurseffektivitet utan också kan gynna jordbrukssektorn genom att tillföra näringsämnen som annars skulle kräva användning av mineralgödsel.

### 3.3 Övergripande vattenbehov och -användning i Sverige

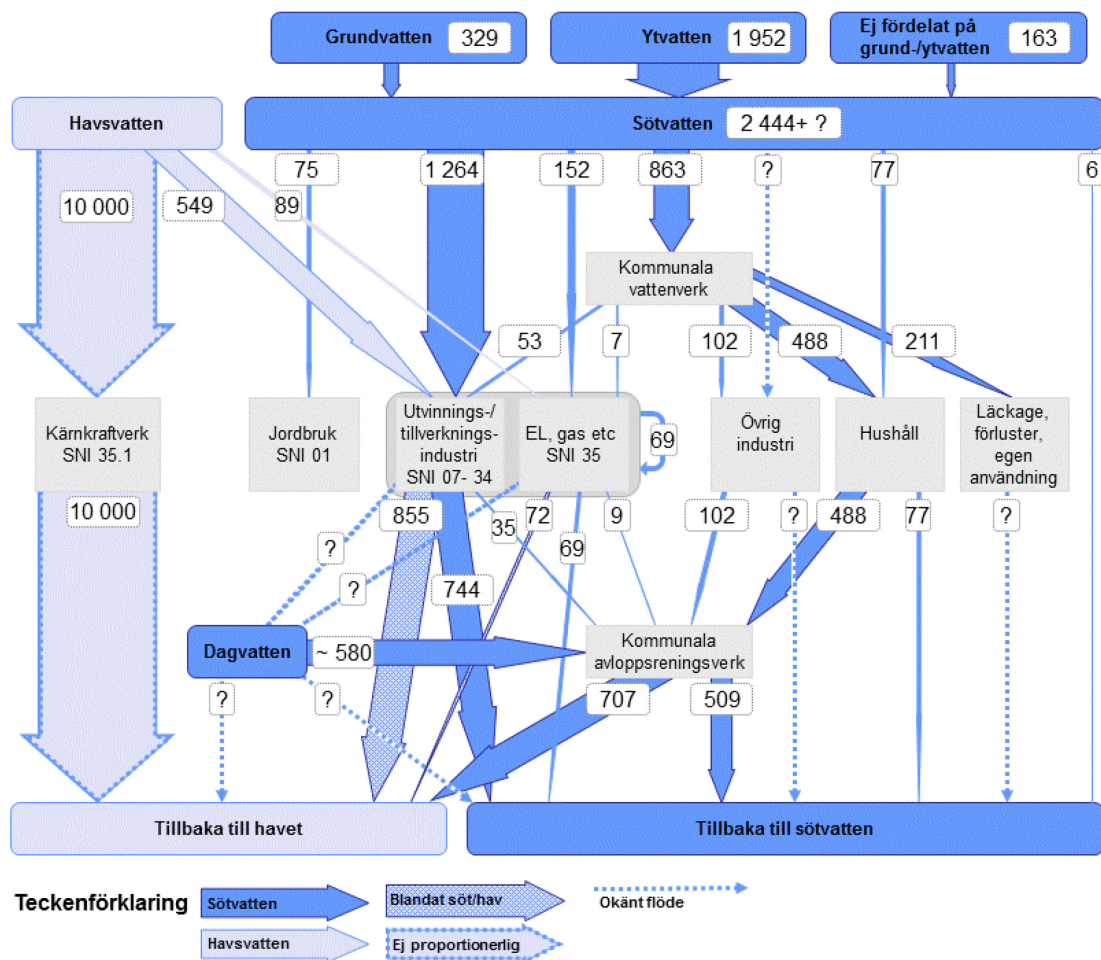
År 2015 uppskattades det totala uttaget av sötvatten i Sverige, inklusive vatten från vattenverk och direktuttag, till cirka 2 400 Mm<sup>3</sup>. Denna mängd användes inom flera olika sektorer enligt följande fördelning:

- Industri stod för 61 % av det totala sötvattenuttaget. Detta inkluderar vatten som används i produktionsprocesser, kylning och annan industriell verksamhet.
- Hushåll använde 23 % av det totala sötvattenuttaget, vilket omfattar vatten för dricksvatten, sanitet och annan hushållsanvändning.



- Övrig användning utgjorde 13 % och inkluderar olika näringsgrenar som byggverksamhet, varuhandel, hotell- och restaurangverksamhet, transporter, offentlig förvaltning och de förluster som uppstår i ledningsnätet.
- Jordbruk stod för en relativt liten andel, endast 3 %, men den regionala variationen är betydande, med Skåne som en stor konsument.

Figur 2 ger en överblick över det skattade vattenflödet i samhället för år 2015 och visar hur sötvatten distribueras och används inom olika sektorer. Detta diagram kan ge en tydligare bild av vattenfördelningen och flödet i samhället, vilket är användbart för att förstå och planera för framtida vattenförvaltning och vattenförbrukning.



Figur 2. Vattenflöden i teknosfären, miljoner kubikmeter (SCB 2017).

### 3.3.1 Kommunal och enskild vattenanvändning

Det kommunala vattenuttaget i Sverige utgör 35 % av det totala sötvattensuttaget, motsvarande 860 Mm<sup>3</sup> per år, medan enskilda uttag står för 65 %, eller 1 580 Mm<sup>3</sup> per år. Produktionen i kommunala vattenverk har minskat något de senaste åren, men fördelningen mellan olika vattenkällor har förblivit relativt stabil, med 23 % från grundvatten, 60 % från ytvatten, och 17 % från konstgjort grundvatten.

Av kommunalt dricksvatten används 75 % i hushåll, 16 % i kommunal verksamhet som skolor och sjukhus, och 9 % i industrin. Denna fördelning belyser hur vatten används inom



det kommunala systemet, där hushållen står för den största andelen, följt av kommunal verksamhet och industrin.

### 3.3.2 Hushållets vattenanvändning

Hushållens kommunala dricksvattenanvändning i Sverige har varit relativt stabil, med ett genomsnitt på 490 Mm<sup>3</sup> per år, motsvarande cirka 57 m<sup>3</sup> per person och år. Trots en ökning av Sveriges befolkning med 1,3 miljoner mellan 1990 och 2015 har den totala vattenanvändningen minskat något under denna period, med en minskning på cirka 10 Mm<sup>3</sup>, eller ungefär 1 m<sup>3</sup> per person och år. Denna minskning tillskrivs teknikutveckling som har gjort hushållsapparater mer vattneffektiva.

Statistiska centralbyrån (SCB) beräknar att den genomsnittliga förbrukningen per person och dygn är 157 liter, baserat på data från bland annat VASS. Svenskt Vatten anger en något lägre siffra, cirka 140 liter per dygn (Svenskt Vatten, 2019).

När det gäller vattenanvändning relaterat till befolkningens mängd har Stockholms län den högsta konsumtionen, med cirka 130 Mm<sup>3</sup> per år, vilket är ungefär en fjärdedel av den svenska hushållens totala vattenanvändning. Västra Götalandsregionen (VGR) använder cirka 75 Mm<sup>3</sup> per år, medan Skånes län ligger på cirka 70 Mm<sup>3</sup> per år. De flesta andra län har en vattenanvändning under 20 Mm<sup>3</sup> per år. Fördelningen av kommunalt kontra egen vattenförsörjning varierar mellan olika län.

Personlig hygien står för cirka 60 liter (40 %) av hushållens dricksvattenanvändning, medan cirka 30 liter (20 %) används för toalettspolning. Endast cirka 10 liter (7 %) av det vatten som levereras till hushållen används som livsmedel, det vill säga för dryck och matlagning (Svenskt Vatten, 2019).

Det finns en tydlig korrelation mellan varmare väder och ökad vattenförbrukning, främst på grund av bevattning och poolfyllning (Odenlind och Segerstad, 2021). Långvarig torka ökar hushållens användning av vatten. Under värmeböljan sommaren 2018 översteg dricksvattenförbrukningen i vissa områden, som i Norrvattens område, den tillgängliga kapaciteten för dricksvattenproduktion, vilket ledde till ansträngda resurser och potentiella risker för vattenbrist.

### 3.3.3 Industrins vattenanvändning

Sveriges industri stod 2020 för cirka två tredjedelar av landets vattenanvändning, vilket motsvarar 2 097 Mm<sup>3</sup>. Detta är samma nivå som 2015 och har varit stabil sedan 1980-talet. Statistiska centralbyrån har dock tagit bort kylvatten baserat på havsvatten från statistiken, vilket utgör en stor del av vattenanvändningen inom industrin, främst till kärnkraftverk. Därför beaktas det inte här.

Massa- och pappersvaruindustrin står för 840 Mm<sup>3</sup>, eller 40 %, av industrins totala vattenanvändning. Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter samt stål- och metallverk står för ytterligare 40 %. Råvatten till industrin hämtas till 61 % från ytvatten, 26 % från havsvatten (framför allt för kylning), 9 % från kommunalt vatten (en ökning med 30 % jämfört med 2015), 3 % från dräneringsvatten och 1 % från grundvatten.



Användningen fördelas som följer:

- 51 % används som kylvatten, främst för kemikalieproduktion (50 %), massaindustrin (25 %), och stålverk (25 %).
- 27 % används som processvatten, huvudsakligen inom pappersindustrin.
- 9 % används som kylvatten vid elproduktion.
- 1 % används för sanitära ändamål.
- Resterande 2,5 % för övriga användningsområden.

När det gäller användningen av kommunalt vatten inom industrin, sker den största konsumtionen i Västernorrlands län (33 200 Mm<sup>3</sup>), Västra Götalands län (17 600 Mm<sup>3</sup>), Skåne län (13 600 Mm<sup>3</sup>), och Jönköpings län (12 700 Mm<sup>3</sup>). Dessa siffror representerar den årliga förbrukningen.

När det gäller vattenåteranvändning sker den största mängden i Stockholms län (56 000 Mm<sup>3</sup>), följt av Skåne län (2 000 Mm<sup>3</sup>), Västernorrlands län (3 200 Mm<sup>3</sup>), och Västmanlands och Gävleborgs län (båda cirka 1 000 Mm<sup>3</sup>).

Industrins vattenutsläpp uppgick 2020 till omkring 1 795 Mm<sup>3</sup>, vilket innebär att 86 % av det vatten som rapporterats som använt också släpps ut. Resterande vatten förångas eller avdunstar under processen eller ingår i färdiga produkter. Endast 5 % av vattenutsläppen går till kommunalt avlopp, medan resten släpps ut i hav (54 %) eller inlandsvatten (41 %).

De län som släpper ut mest vatten till kommunalt avlopp är Jönköpings län (23 600 Mm<sup>3</sup>), Stockholms län (9 500 Mm<sup>3</sup>), Örebro län (8 300 Mm<sup>3</sup>), Dalarnas län (800 Mm<sup>3</sup>), samt Skåne och Västra Götalands län (båda cirka 7 500 Mm<sup>3</sup>). Stål- och metallproduktionen (23 000 Mm<sup>3</sup>) samt livsmedelsindustrin (19 200 Mm<sup>3</sup>) står för den största andelen utsläpp till kommunalt avlopp.

För närvarande finns det ingen data över utsläppsfördelningen på månadsbasis, vilket skulle kunna vara användbar för mer detaljerad analys och förståelse av industrins vattenanvändning och -utsläpp.

### 3.3.4 Jordbrukets vattenanvändning

Jordbrukets vattenanvändning består av två huvudsakliga delar: bevattning av grödor och dricksvatten för husdjur. Bevattning av grödor står för 64 % av denna vattenanvändning, medan 36 % används för dricksvatten till husdjur.

Bevattningen är koncentrerad till vissa län i Sverige. Skåne län står för 60 % av den nationella bevattningsanvändningen, vilket gör det till det mest bevattningsintensiva länet i landet. Kalmar län är det näst mest bevattningsintensiva, med 8 % av den nationella användningen, följt av Blekinge med 7 %, och Hallands län med 6 %.

## 3.4 Trender

Hur framtida spillvattenflöden kommer att förändras beror på en rad olika faktorer, vilket gör det svårt att förutse. En minskad dricksvattenkonsumtion och ett fortsatt arbete för att koppla bort dagvatten från avloppsnätet kan leda till minskade spillvattenflöden. Å andra sidan kan klimatförändringar som ökad nederbörd, tillsammans med ett åldrande ledningsnät som leder till större inläckage av tillskottsvatten, en ökande befolkning och



anslutning av enskilda avlopp till kommunala reningsverk, bidra till ökade flöden av spillvatten som släpps ut från kommunala reningsverk.

En modellstudie av Andersson et al. (2020) visade att framtida flöden 2040 kan variera betydligt på olika svenska reningsverk. Studien modellerade scenarier på fyra stora svenska reningsverk, där faktorer som förändringar i infiltration och befolkningstillväxt togs i beaktande. Resultaten visade att vissa reningsverk knappt påverkades av förändringar i infiltration, medan andra visade kraftiga variationer i medelflödet mellan olika scenarier. Detta indikerar svårigheten att förutspå det framtida nationella spillvattenflödet i Sverige och påvisar behovet av mer omfattande analyser för att få en bättre förståelse på nationell nivå.

Industrins vattenanvändning förväntas gå mot ökad återanvändning av vatten drivet av den pågående revisionen av industriutsläppsdirektivet som föreslår resurseffektivitets kriterier där vatten ingår. Även ett ökat konsumenttryck driver på industriens vatteneffektiviseringsarbete. Initiativ för ökat återbruk av vatten, som stöd till dricksvattenförsörjning, existerar redan i Sverige, med exempel som processvatten från kycklingfabriken i Mörbylånga kommun. Dessa initiativ kan vara en viktig del av framtida strategier för att hantera variationer i spillvattenflöden och optimera vattenanvändningen.

### 3.5 Tillgång vs. behovet av vatten

Under värmeböljor och även under vanliga somrar ökar dricksvattenförbrukningen betydligt, främst på grund av ökad bevattning och fyllning av pooler. Denna ökade efterfrågan kan ibland skapa problem, eftersom den tillgängliga produktionskapaciteten för dricksvatten överskrids eller råvattentäkter sinar, vilket leder till risk för vattenbrist och ansträngda resurser.

Regionalt kan det finnas infrastrukturella utmaningar som försvårar dricksvattenförsörjningen och spillvattenhanteringen. Detta kan inkludera olika täckningsområden för dricksvatten- och spillvattenaktörer, vilket kan skapa komplexitet och potentiella problem med koordination och tillgänglighet.

Dricksvattenanvändningen är som störst inom hushåll, där mycket av vattnet används för bevattning, dusch, disk och andra vanliga aktiviteter. Även om denna användning kan verka rimlig, finns det ofta stor potential för besparingar genom mer effektiv vattenanvändning och teknik. Hushåll är därför en viktig målgrupp för vattenbesparingsinitiativ och informationskampanjer.

Kommunal verksamhet som skolor och sjukhus är också stora konsumenter av dricksvatten. Dessa institutioner har sina egna specifika behov, men de utgör också områden där vattenbesparing och effektivitet kan förbättras. Genom att minska onödig användning av dricksvatten och främja återbruk eller användning av andra vattenkällor kan det kommunala systemet avlastas, vilket kan bidra till en mer hållbar och robust vattenförvaltning, särskilt under perioder av ökad efterfrågan eller begränsad tillgång.



### 3.6 Internationellt perspektiv

Globalt sett är jordbruket den sektor i samhället som använder mest sötvatten, cirka 70 % av det totala globala sötvattensuttaget. Detta beror på bevattningsbehovet för grödor och vattenförsörjning för husdjur.

I Sverige ligger vattenförbrukningen på en hög nivå jämfört med andra europeiska länder, med en genomsnittlig konsumtion på 140–160 liter per person och dag. En av orsakerna kan vara schabloner för vattenanvändning som ligger på en annan nivå än i andra länder. Till exempel anger Tyskland 6 liter per person och dag för disk, medan Sverige anger 15 liter per person och dag. Motsvarande brist på överensstämmelse gäller för flera andra kategorier av vattenanvändning<sup>1</sup>.

Inte heller jordbruket i Sverige har lika stora bevattningsbehov som många andra europeiska länder. Den höga vattenförbrukningen i Sverige kan bero på flera faktorer, inklusive större bostadsytor och andra livsstilsaspekter. Denna skillnad i vattenanvändningsmönster belyser behovet av bättre vattenförvaltningsstrategier för att minska överkonsumtion och öka effektiviteten, särskilt när det gäller hushållens användning. Genom att anta mer effektiva vattenanvändningsmetoder och minska slöseri kan Sverige bidra till en mer hållbar vattenhantering och minska belastningen på vattenresurserna.

### 3.7 Rekommendationer relaterade till delsyntesen

Det finns en omfattande brist på data kring uttag och användning av vatten i Sverige. Den grunddata som är tillgänglig är fragmenterad, ofullständig, dåligt koordinerad och ofta svår att få tag på. På grund av denna brist på data och statistik är det svårt att avgöra industrins exakta vattenbehov och hur dricksvatten används inom olika sektorer, vilket gör det utmanande att bedöma potentialen för att ersätta dricksvatten med renat vatten.

Flera myndigheter, inklusive SMHI, har redan tidigare konstaterat att den nuvarande datainsamlingen och statistiken inte på något sätt är tillräcklig för att möta de behov som finns när det gäller vattenhantering i samhället. En SMHI-rapport från 2020 (SMHI 2020) betonade att ökad kunskap är avgörande för klimatanpassning och för att kunna planera användningen av vattenresurserna. På lång sikt är detta viktigt för att säkra dricksvatten- och livsmedelsförsörjningen, särskilt i de mest utsatta områdena i sydöstra Sverige.

En bättre upplösning i både rum och tid behövs för att möjliggöra en mer effektiv uppföljning och hantering av vattenanvändning, samt för att genomföra åtgärder för vattenbesparing och återbruk. Dessutom krävs datainsamling som täcker flera kategorier och har en högre temporär upplösning för att ge beslutsfattare det underlag som behövs för att fatta välgrundade beslut.

För att åtgärda dessa brister och förbättra förståelsen av vattenanvändning i Sverige behöver datainsamlingen omfatta mer omfattande och detaljerad information om vattenflöden, användning och behov. Detta skulle inte bara förbättra planeringen och hanteringen av vattenresurserna, utan även bidra till en mer hållbar och motståndskraftig vattenförsörjning.

<sup>1</sup> <https://www.statista.com/statistics/802129/drinking-water-usage-in-german-households/>





Det saknas vägledning kring vilken vattenkvalitet som behövs för olika vattenanvändning. Till exempel är EU:s direktiv för återanvändning av renat avloppsvatten för bevattning in jordbruket inte fullt ut implementerat i Sverige (Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse).

## 4 Referenser

- Andersson, S., Rahmberg, M., Nilsson, Å., Grundestam, C., Saagi, R., Lindblom, E. 2020. Evaluation of environmental impacts for future influent scenarios using a model-based approach. *Water Science and Technology* 81, 1615–1622.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2020.183>
- EurEau 2021. Europe's Water in Figures An overview of the European drinking water and wastewater sectors - 2021 edition. ISBN 978-2-9602226-3-0.
- Frihammar, E., Barup, J. 2021. Vilket vatten till vad? Hållbar vattenförsörjning genom användning av alternativa vattenkällor. SVU-rapport 2021-20. Stockholm, Svenskt Vatten.
- IVA 2021. Klimatförändringar och hållbar vattenförsörjning. Hållbar vattenförsörjning – tillgång till rent vatten i ett föränderligt klimat. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA-M 526.
- Naturvårdsverket 2022. Analys av vilka åtgärder som behövs för att genomföra EU-förordningen om minimikrav för återanvändning av vatten. NV-02172-21.
- SCB 2021. Industrins vattenanvändning 2020. Uttag, användning och utsläpp av vatten i industrisektorn MI16 Industrins vattenanvändning 2020A01.
- SCB 2020. Utsläpp till vatten och slamproduktion 2018. Kommunala avloppsreningsverk, massa – pappersindustri samt viss övrig industri. MI 22 SM 2001.
- SCB 2017. Vattenanvändningen i Sverige 2015. MIR 2017:1.
- SGU 2018. Klimatanpassning grundvatten. Online:  
<https://www.sgu.se/grundvatten/klimatanpassning-grundvatten/> Hämtad 2022-11-14.
- SMHI 2020. Ökad kunskap om vattenuttag i Sverige - Rapportering av regeringsuppdrag. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Hydrologi 126.
- Svenskt Vatten 2019. Dricksvattenfakta. <https://www.svenskvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/> [2022-08-16]



# Delsyntes 1b: NÄRINGSÄMNINGEN

## Tillgång, behov, dagens återvinning och framtidens potential

I denna delsyntes presenterar vi tillgång och behov av näringsämnen i Sverige med fokus på tillgång i avloppsvatten och behov i jordbruket. Med tillgängliga data har vi försökt beskriva regionala skillnader och hur tillgång respektive behov varierar i tid och rum. Syftet med denna sammanställning är att visa på hur tillgången är fördelad och hur användningen ser ut idag samt hur den kan komma att förändras.

Denna delsyntes består av två delar; projektgruppens samlade bedömning och kunskapsunderlaget för delsyntesen. I projektgruppens samlade bedömning listas huvudpunkter som projektgruppen vill lyfta fram som viktiga aspekter kopplat till återvinning och återanvändning av resurser från avlopp. I kunskapsunderlaget presenteras den litteratur som ligger till grund för dessa punkter.

## 1 Sammanfattning

Den återanvändning av näringsämnen från avlopp som sker i fullskala idag i Sverige är uteslutande via slamspridning. En möjlig begränsning av slamspridning skulle således leda till en minskad återföring av näringsämnen tills nya sätt att återvinna och använda näringsämnen har implementerats. Genom slamspridning återförs ca 45 % av inkommande fosfor från de svenska reningsverken, men klart mindre än 10 % av kvävet.

Återvinningsgraden för kalium och svavel är svår att kvantifiera med dagens tillgängliga källmaterial. Det finns stora regionala skillnader i näringsämneskoncentration i avlopp och näringsämnesåterföring idag. I norra Sverige är näringsåtervinningen från avlopp idag närmast obefintlig, medan åkermarksspridning är vanlig i andra regioner. Internationellt ser man mycket olika på frågor om näringsåterföring och slamspridning och detta gäller även inom Europa och EU.

Behovet av näringsämnen finns såväl i jordbruk som i industri. Sett till dagens mineralgödselmarknad skulle en fullständig återvinning av näringsämnen från avloppsvatten från kommunala reningsverk teoretiskt kunna ersätta ca 30-40 % av fosforimporten och över 20 % av mineralkväveimporten, men varierar stort mellan olika år främst beroende på att mineralgödselmarknaden varierar år till år. Sett till jordbruksmarkens totala behov av näringsämnen (inklusive andra organiska gödselmedel) står dagens återföring från avlopp bara för enstaka procent av jordbrukets kvävebehov och bara upp till ca 15 % av jordbrukets fosforbehov.

De näringsämnen som idag finns på marknaden, utöver näringsämnen från avlopp, är framförallt djurgödsel, biogödsel (rötrest från matavfall och andra biobaserade avfall) samt mineralgödsel. Mineralgödsel produceras inte i Sverige idag i någon större skala och vi är därför importberoende. Framställning av olika gödselmedel undersöks för närvarande även i Sverige med fokus bland annat på grön kväveframställning från vätgas, kalium från batteriåtervinning och gruvavfall samt fosforåtervinning från gruvavfall. Skulle dessa projekt bli verklighet kan Sverige gå från mineralgödselimportör till mineralgödselexportör.



För en ökad näringsåterföring från avlopp finns potential genom källsorterade system och återvinning från dessa fraktioner, men även genom en utökad återvinning i dagens system. Det mest kritiska ämnet att återvinna är kväve, sett till jordbrukets behov och till klimatavtryck. Viktigt att bära med sig är att potentialen för näringsåtervinning till stor del är starkt beroende av såväl teknikutveckling som regelverk och policy.

## Innehåll

1	Sammanfattning .....	1
2	Projektgruppens samlade bedömning .....	2
2.1	Tillgång på näringsämnen .....	2
2.2	Behov av näringsämnen .....	3
2.3	Dagens återanvändning och återvinning av näringsämnen .....	3
2.4	Alternativa tillgångar till näringsämnen .....	3
3	Kunskapsunderlag för delsyntesen .....	4
3.1	Tillgängliga näringsämnen i avloppsvatten .....	4
3.1.1	Nuläge i nationellt och regionalt perspektiv .....	4
3.1.2	Trender .....	6
3.1.3	Internationellt perspektiv .....	6
3.2	Behovet av näringsämnen .....	8
3.2.1	Nuläget .....	8
3.2.2	Tillgång jämfört med behovet .....	9
3.2.3	Trender .....	9
3.3	Dagens återvinning av näringsämnen och framtidens potential och behov .....	11
3.3.1	Nationellt perspektiv på dagens återanvändning och återvinning .....	11
3.3.2	Regionalt perspektiv på dagens återvinning .....	12
3.3.3	Internationellt perspektiv på dagens återvinning .....	12
3.3.4	Framtida potential av näringsåtervinning ur ett nationellt och regionalt perspektiv .....	13
3.4	Alternativa tillgångar .....	14
3.5	Rekommendationer relaterade till delsyntesen .....	15
4	Referenser .....	15

## 2 Projektgruppens samlade bedömning

### 2.1 Tillgång på näringsämnen

Spillvatten innehåller betydande mängder näringsämnen, varav fosfor oftast står i fokus vid återvinning. Ändå finns även stora mängder kväve, kalium och svavel i avloppsströmmar. Ökat fokus på återvinning av kväve rekommenderas, med tanke på dess klimatpåverkan och betydelsen för inhemsk livsmedelsproduktion. Källsorterande system erbjuder störst potential för näringsåtervinning eftersom en utspädning och kontaminering av näringsrika fraktioner kan undvikas. Klosettatten innehåller avsevärt mer näringsämnen än BDT-vatten (bad, disk, tvätt), där den största delen av näringsämnena i klosettattnet finns i urinen. Avloppsvatten som behandlas i kommunala reningsverk över 2 000 PE (person-ekvivalenter) i Sverige innehåller totalt omkring 41 400 ton kväve och 5 300 ton fosfor per år. Merparten av fosfor (ca 95 %) hamnar i slammet, medan en del av kvävet fördelas mellan slam och rejektivatten (vatten från slamavvattning), vilket ger potential för



återvinning. Utifrån värden för några svenska reningsverk hamnar mellan 13-34 % av inkommande kväve i slammet. För svavel är motsvarande andel 6-21 % och för kalium 4-9 %. I framtiden förväntas tillgången på näringsämnen från avloppsvatten öka på grund av växande befolkning och fler anslutna hushåll till kommunala avloppssystem.

## 2.2 Behov av näringsämnen

Behovet av mineralgödsel i jordbruket är störst för kväve, följt av kalium och svavel, medan fosfor har den lägsta efterfrågan per hektar. Det finns stora regionala skillnader i användningen av mineralgödsel, med Skåne och Västra Götalands län som står för över hälften av den nationella försäljningen av fosformineralgödsel. De beräknade näringsämnena i inkommande avloppsvatten till kommunala reningsverk över 2 000 PE i Sverige skulle teoretiskt kunna ersätta omkring 25 % av landets import av mineralgödselkväve och upp till 40 % av mineralgödsel fosfor. Källsorterade avloppsfractioner erbjuder en möjlighet till högre återvinningsgrad för kväve, vilket kan öka den teoretiska ersättningen för mineralgödsel.

## 2.3 Dagens återanvändning och återvinning av näringsämnen

För närvarande sker återanvändning av näringsämnen från avloppsvatten i Sverige främst genom slamspridning. Flera tekniker för återvinning utvärderas i pilotskala, och tidigare fanns några fullskaleanläggningar för näringsåtervinningstekniker. Ett potentiellt förbud mot slamspridning har utretts i Sverige och ligger på regeringens bord för beslut, vilket kan påverka återanvändning av näringsämnen. Ett förbud skulle initialt minska återvinningen av näringsämnen tills nya metoder har etablerats. Utformning av mål för näringsåtervinning bör beakta att vissa tekniker kan gynna en typ av näringsämne, såsom fosfor, men missgynna andra, som kväve. En mer helhetsinriktad strategi rekommenderas.

## 2.4 Alternativa tillgångar till näringsämnen

För närvarande kommer näringsämnen från alternativa, nationella källor huvudsakligen från biogödsel av matavfall och organiska restprodukter samt djurgödsel. Om planerade anläggningar för tillverkning av gödselmedel från gruvavfall, flygaska, batteriavfall och grön vätgas blir verklighet, kommer Sveriges fosforbehov att täckas med råge. Detta kan också inkludera storskalig återvinning av kalium och produktion av kväve från grön vätgas. Alternativa tillgångar kan vara viktiga komplement till cirkulär användning av näring från avloppsvatten, men användning av icke-cirkulära källor kan bidra till ökad miljöpåverkan, eftersom de planetära gränserna för fosfor och kväve redan anses överskridna. Dessutom kräver kvävetillverkning från grön vätgas mycket energi, vilket kan öka Sveriges elbehov avsevärt. Om de planerade anläggningarna för kaliumproduktion blir verklighet, kan de potentiellt överträffa nuvarande importnivåer av mineralgödselkalium.



## 3 Kunskapsunderlag för delsyntesen

### 3.1 Tillgängliga näringsämnen i avloppsvatten

#### 3.1.1 Nuläge i nationellt och regionalt perspektiv

Näringen som mat- och foderväxter tar upp ur jorden hamnar efter att maten ätits upp i avloppsvattnet. Avloppsvattnet är det urbana avfallsflöde som innehåller mest näringsämnen (Jönsson, 2019) och näringen från avloppsvattnet bör i ett cirkulärt samhälle återföras till jordbruksmarken. Näringen i avlopp kan främst återanvändas antingen genom att det slam som uppstår vid reningen sprids på åkermark efter lämplig hantering eller genom att näringsämnena via olika fysikalisk-kemiska processer återvinns ur främst högkoncentrerade strömmar. För enskilda avlopp som har separat insamling av klosettwater kan även svartvatten ureahygieniseras och/eller våtkomposteras så att hela fraktionen kan spridas på åkermark. Under utveckling är även tekniker för att utvinna näringsämnen direkt ur toaletten via exempelvis torkning av urin (Sweden Water Research, 2021). Val av strategi påverkar vilken och hur mycket av näringsämnen i avlopp som kan återanvändas.

I Tabell 1 visas mängden näringsämnen i avloppsvatten som når kommunala reningsverk och i slammet som produceras på kommunala reningsverk. Data kommer från SCB (2022a) och visar värden för 2020 för reningsverk över 2 000 PE. För mindre reningsverk saknas tillförlitliga data. Allt spillvatten som produceras i Sverige når inte de kommunala reningsverken och omkring 12 % av alla invånare saknar anslutning till det kommunala avloppsledningsnätet (SCB, 2021). Att utgående slam innehåller mer fosfor än inkommande spillvatten kan exempelvis bero av tillförsel av externslam och matavfall.

Tabell 1: Mängd totalfosfor och totalkväve i ton/år till kommunala reningsverk över 2 000 PE. Medeltal 2014-2020 (SCB, 2022a).

	Kväve (ton/år)	Fosfor (ton/år)
<b>Inkommande spillvatten till kommunala reningsverk</b>	41 355	5 292
<b>Utgående slam från kommunala reningsverk</b>	9437	5 509*

\*Att utgående slam innehåller mer fosfor än inkommande avlopp kan exempelvis bero av tillförsel av externslam och matavfall.

I Tabell 2 presenteras beräknade värden för hur näringen i spillvattnet uppskattas vara fördelad mellan urin och fekalier samt toalettpapper. Även förväntat näringsinnehåll i svartvatten (urin, fekalier, toalettpapper och spolvatten), gråvatten (vatten från bad, disk och tvätt) och totalt för spillvatten från hushåll (svartvatten och gråvatten) presenteras i tabellen likväl som näringsinnehållet i komposterbart avfall. Värden är beräknade utifrån Sveriges befolkningsmängd 2021 och schablonvärden för näringsinnehåll i avloppsfractioner från Jönsson et al. (2005). I dagsläget är de flesta avloppssystem i Sverige duplikatsystem där svartvatten och gråvatten blandas och dagvatten leds separat, men det finns även en betydande andel kombinerade system där dagvattnet leds i samma ledningar som övrigt spillvatten. Alla dessa fraktioner finns därför i dagsläget inte separerade. Från Tabell 2 ses att svartvatten innehåller betydligt mer näringsämnen än gråvatten (2-8 ggr mer) och den största delen av näringsämnen i svartvattnet finns i urinen (88 % för kväve, 65 % för fosfor 81 % för svavel och 72 % för kalium). Utifrån hur näringsämnen är fördelad mellan dessa fraktioner finns störst potential med återvinning ur urin.



Tabell 2: Näringsämnen i avloppsfraktioner i ton/år. Värdena är beräknad utifrån befolkningsmängd 10 452 325 (31 december 2021) (SCB, 2022b) och Jönsson et al. (2005).

	<b>Kväve (ton/år)</b>	<b>Fosfor (ton/år)</b>	<b>Kalium (ton/år)</b>	<b>Svavel (ton/år)</b>
<b>Urin</b>	41 809	3 449	9 198	2 718
<b>Fekalier och toalettpapper</b>	5 226	1 881	3 449	627
<b>Svartvatten (urin, fekalier och toalettpapper)</b>	47 035	5 331	12 647	3 345
<b>Gråvatten (vatten från bad, disk och tvätt)</b>	6 271	2 613	3 031	1 777
<b>Hushållspillvatten (svartvatten och gråvatten)</b>	53 307	7 944	15 574	5 017

Av den näring som når avloppsreningsverken renas ca 95 % från vattenfasen och i princip hamnar all fosfor som avskiljs i det avvattnade slammet. Därmed finns även en stort potential för återvinning av fosfor med olika tekniker (Malovanyy et al., 2022; von Bahr and Kärrman, 2019). För resterande näringsämnen är det dock en mindre andel som hamnar i slammet. Malovanyy et al. (2022) sammanställde årsmedelvärden för koncentrationen av kväve, svavel och kalium för sju svenska reningsverk; Kungsängsverket i Uppsala, Getteröverket i Varberg, Bromma i Stockholm, Duvbacken i Gävle, Sundet i Växjö, Källby i Lund och Ryaverket i Göteborg. För både kväve, kalium och svavel visar sammanställningen på en stor variation mellan de olika avloppsreningsverken gällande koncentrationen i de olika fraktionerna och fördelningen mellan rektvatten och slam. För inkommande vatten är stora skillnader att förvänta från reningsverk till reningsverk där både antalet anslutna personer och verksamheter som finns uppströms reningsverket påverkar i hög grad.

I relation till det kväve som kommer med inkommande vatten hamnar för de undersökta reningsverken 13-34 % i avvattnat slam och kan återföras jordbruksmarken utan någon särskild återvinningsprocess. Andel kväve som hamnar i rektvatten är 10-23 % och de högre kvävekoncentrationerna ger bättre förutsättningar för kväveåtervinning ur rektvattnet än ur inkommande spillvatten. Om kvävet återvinns från rektvattnet och slammet sprids kan teoretiskt totalt 29-57 % av inkommande kvävet återvinnas. Hur mycket som realistiskt kan återföras av detta beror på andelen slam som sprids och hur effektiv vald teknik för kväveåtervinning ur rektvattnet är (Malovanyy et al., 2022).

Svavelhalter i rektvatten är låga (7,8-30 mg/l) och det är därför inte möjligt att återvinna mycket svavel från rektvatten. 6-21 % av inkommande svavel hamnar i det avvattnade slammet. I och med att svavel inte tidigare betraktats som en begränsad resurs är det svårt att hitta studier som fokuserar på återvinning av svavel från kommunalt avloppsvatten. Spridning via slam kan ge viss återföring av svavel men det kan även vara möjligt att återvinna svavel via bevattning med renat, uppkoncentrerat spillvatten (Malovanyy et al., 2022).

Kalium fastnar i mycket liten utsträckning i slammet där enbart 1-3,2 % av inkommande kalium hamnar i slammet. Avloppsslam är därför inte den fraktion med högst återvinningspotential för kalium. Större potential finns med återvinning ur vätskefasen där rektvatten har högre potential än inkommande vatten (5-14 gånger högre koncentration än i inkommande vatten) men allra störst är potentialen från källsorterad urin som innehåller den största mängden kalium (knappt 9 000 ton per år) (Malovanyy et al., 2022).



Till kommunala reningsverken leds i vissa fall spillvatten från industrier men idag har de flesta stora industrier egen rening av processvatten. Vissa industriella avloppsströmmar kan innehålla mycket näringsämnen, dock är innehållet mycket varierande från industri till industri vilket gör det svårt att ge några generella värden på tillgången till näring i industrispillvatten och statistik saknas för innehållet i slam från industriella anläggningar (Holmgren et al., 2020).

### 3.1.2 Trender

Gällande inkommande spillvatten till kommunala reningsverk och utgående slam från kommunala reningsverk har SCB data för 2014, 2016, 2018 och 2020 (se SCB, 2022a, 2022c). Datat gäller för reningsverk över 2 000 PE. Ingen trend kan ses för mängden näringsämnen från 2014 till 2020 i inkommande spillvatten men en ökande trend kan skönjas för slam. Ökningen för slam kommer både av en ökande mängd slam och ett ökat näringsinnehåll i slammet. Om befolkningsökningen fortsätter och fler ansluter sig till det kommunala avloppssystemet är en ökad mängd näring in till reningsverken att förvänta. Om andra lösningar för avloppssystemen implementeras i större skala kan detta dock omfördela var näringsflödet hamnar. Hur mycket av den näring som kommer till reningsverken som hamnar i slammet eller rejektivattnet beror även på vilka processer som sker på reningsverket. Exempelvis utvecklas tekniker för att öka utröttningsgraden vid röttningsprocessen av slam för att öka möjligheterna till energiutvinning ur slam. En ökad utröttningsgrad ökar koncentrationen av nedbrytningsämnen i rejektivattnet vilket gör att koncentrationen av kväve i rejektivattnet förväntas öka i framtiden (Stenström et al., 2017). Med ökade kvävekoncentrationer i rejektivattnet förbättras förutsättningarna för kväveåtervinning ur rejektivattnet.

Tabell 3: Mängd totalfosfor och totalkväve i inkommande vatten och i producerat slam [ton/lår] för kommunala reningsverk för 2014, 2016, 2018 och 2020 för reningsverk över 2 000 PE. Beräknade mängder i slam utifrån (SCB 2020a, 2022d).

		2014	2016	2018	2020
Inkommande spillvatten till kommunala reningsverk	Kväve	41 340	41 049	41 284	41 737
	Fosfor	5 176	5 546	5 351	5 095
Utgående slam från kommunala reningsverk*	Kväve	9 053	9 259	9 720	9 724
	Fosfor	5 285	5 486	5 608	5 659

\*Beräknade värden utifrån mg/kgTS i slam och producerad mängd slam i Sverige.

### 3.1.3 Internationellt perspektiv

Internationellt uppskattas 312 000 miljoner kubikmeter kommunalt spillvatten produceras årligen och 60 % av detta behandlas. Hur mycket spillvatten som produceras per person skiljer mycket mellan olika länder och även hur vattnet behandlas varierar stort. Även innehållet i spillvattnet varierar beroende på exempelvis på diet, vattenkonsumtion och mängder tillskottsvatten. Typiskt innehåller inkommande spillvatten 30-100 mg/l kväve och 6-25 mg/l fosfor (Ostermeyerr et al., 2022) vilket visar på ett stort spann.

I Tabell 4 visas internationella värden för koncentrationen av kväve, fosfor och kalium i de olika avloppsfraktionerna urin, fekalier och gråvatten samt respektive fraktions bidrag till totalen. Svartvattnet innehåller den stora majoriteten näringsämnen där urin utgör den mest näringsrika fraktionen (Ostermeyerr et al., 2022).



Tabell 4: Internationella värden för koncentrationen av kväve, fosfor och kalium i urin, fekalier och grävatten (Ostermeyerr et al., 2022).

	Kväve		Fosfor		Kalium	
	Halt mg/l	Bidrag till totalen %	Halt mg/l	Bidrag till totalen %	Halt mg/l	Bidrag till totalen %
<b>Urin</b>	8 661	79	732	47	2 047	71
<b>Fekalier</b>	7 500	13	3 000	25	4 500	22
<b>Grävatten</b>	23	8	8,5	28	10	7

I Tabell 5 presenteras näringsinnehåll i vissa industrispillsvatten. Värdena kommer från olika studier sammanställda i Ostermeyerr et al. (2022) och visar på en mycket stor spridning mellan olika typer av industriella avloppsfraktioner.

Tabell 5: Näringsinnehåll i vissa industriella processavloppsvatten (Ostermeyerr et al., 2022).

	Kväve mg/l	Fosfor mg/l	Svavel mg/l	Kalium mg/l
<b>Dairy industries</b>				
Cheese	18-830 <sup>1</sup>	5-280	-	-
Ice cream	-	14	-	-
Mixed dairy	10-660 <sup>1</sup>	0-600	-	-
Whey	200-2 000 <sup>1</sup>	120-530	-	-
<b>Pulp and paper industries</b>				
Thermomechanical pulping whitewater	7 <sup>1</sup>	-	-	-
Thermomechanical pulping	12 <sup>1</sup>	2,3	72 <sup>3</sup>	-
Chemi-thermomechanical pulping	-	-	167 <sup>3</sup>	-
Kraft mill	306-600 <sup>1</sup>	1-2	6-375 <sup>3</sup>	-
Bleach Kraft mill	2 <sup>1</sup>	-	-	-
Sulfite mill	-	-	800-1 270 <sup>3</sup>	-
Paper making	11 <sup>1</sup>	0,6	97 <sup>3</sup>	-
Chip wash	86 <sup>1</sup>	36	315 <sup>3</sup>	-
Spent liquor	55 <sup>1</sup>	10	868 <sup>3</sup>	-
<b>Metal and mining industry</b>				
Slag Crushing	-	-	100-150 <sup>4</sup>	-
Rolling Mills	-	-	100-150 <sup>4</sup>	-
Cooling of Pig Iron	-	-	20-650 <sup>4</sup>	-
Pickling Wastewater	-	-	200-2 000 <sup>4</sup>	-
<b>Oil and gas production</b>				
Drilling Wastewater	0,98-34,98 <sup>1</sup>	-	nd-1568 <sup>1</sup>	-
Produced Water	-	-	nd-3350 <sup>1</sup>	0-2190
Process Wastewater	0,147-2,86 <sup>1</sup>	-	13,06-16,32 <sup>1</sup>	-
<b>Petroleum refineries and petrochemical plants</b>				
General wastewater characteristics from petroleum refineries and petrochemical plants	20-65 <sup>2</sup>	-	1,5-100 <sup>4</sup> 18-870 <sup>5</sup>	-
<b>Pharmaceutical industry</b>				
General wastewater characteristics from pharmaceutical industry wastes.	80-500 <sup>1</sup>	18-47	80-360 <sup>4</sup> 40-100 <sup>5</sup>	128-140

1 Totalkväve. 2 Ammonium. 3 Totalsvavel. 4 Sulfat. 5 Sulfid.





## 3.2 Behovet av näringsämnen

### 3.2.1 Nuläget

Inom jordbruket används gödsel i stor utsträckning för att återföra näringen till jorden som grödorna tagit upp. Typen av gödsel som används beror på jordbrukets produktionsinriktning där stallgödsel i huvudsak används på den egna gården för gårdar med djur, medan mineralgödsel används på gårdar med djur och/eller växtodlingar. För ekologisk växtodling får dock inte mineralgödsel användas (Statens offentliga utredningar, 2021). Förutom mineralgödsel, stallgödsel och slam används även biogödsel som är rötrest från bland annat matavfall som gödsling av jordbruksmark idag. Även övriga organiska gödselmedel som viss biprodukt från livsmedelsindustri och kompost används (Johansson et al., 2021).

För fosfor bygger mineralgödseltillverkning på tillverkning från apatit. Av den fosforapatit man känner till idag finns 85 % av alla kända reserver i bara fem länder globalt, och totalt över 70 % av de kända reserverna ligger i Marocko och Västsahara. Över 80 % av den globala produktionen finns i Kina, Ryssland, Marocko, Västsahara och USA, vilket gör att de flesta av världens länder är starkt importberoende (Brownlie et al., 2022). I Sverige är den största producenten av mineralgödsel Yara och 85 % av det mineralgödsel som säljs i Sverige kommer från Finland och Ryssland (Statens offentliga utredningar, 2021). 42 % av den fosfor som sprids i jordbruket kommer från mineralgödsel (Jönsson, 2019). Fosfor används även som tillsatsmedel i djurfoder och i andra tillämpningar i samhället (Brownlie et al., 2022). Dessa övriga fosforanvändningar är betydligt mindre än användningen av mineralgödsel fosfor och har undantagits i denna rapport men kan vara viktigt lokalt.

Mineralgödselkväve tillverkas från ammoniak och processen är både mycket energikrävande och ger upphov till stora växthusgasutsläpp. Kväve är det näringsämne som oftast begränsar skörden och om växttillgängligt kväve inte sprids på våren minskar skörden med 30-60 % redan första året för våra vanligaste grödor. Kväveförsörjningen är mycket sårbar i och med att mineralkväve står för 83 % av det spridda växttillgängliga kvävet och vi saknar tillverkning av mineralkväve i Sverige (Jönsson, 2019). Vid konventionell tillverkning av mineralgödselkväve används ofta fossil gas vid tillverkningen. Det finns nu även mer klimatvänliga alternativ som utgår från förnyelsebar energi vid tillverkning ("Fossilfri mineralgödsel," 2022).

Kalium tillförs i störst utsträckning från stallgödsel och bara 23 % sprids i form av mineralgödsel. Allt mineralgödselkalium importeras idag (Jönsson, 2019).

Betydelsen av svavel i jordbruket är stor både som råvara för svavelgödselmedel men även vid produktion av mineralgödsel fosfor som använder mer än hälften av världens svavelsyraproduktion (Wainwright, 2018).

Statistik för mineralgödsel försäljning sätts samman årligen av Jordbruksverket och SCB där statistiken är uppdelad per brutet år (1:a juli- 30:e juni). Av mineralgödseln är mineralkväve det gödselmedel som säljs i särklass störst mängd, och det är också det mineralgödsel som beräknas ha störst koldioxidekvivalentutsläpp per kg (SCB, 2022e). Om målsättningen är att ersätta all mineralgödsel som säljs i Sverige (sett till dagens förbrukning) skulle sammanlagt omkring 183 000 ton mineralgödselkväve behöva ersättas samt 13 000 ton fosfor och 27 000 ton kalium per år (Statens offentliga utredningar, 2021). Det kan dock konstateras att konstgödsel försäljningen i Sverige varierar mycket (SCB 2022e) och val av referensår vid



beräkningar kan göra stor skillnad i beräkningarna av behovstäckning. Mineralgödsele användningen beror på en rad omvärldsfaktorer, bland annat tillgång och pris. Förutom i jordbruket behövs näringsämnen i andra delar av samhället. I industrin används exempelvis mycket kemikalier där näringsämnena utgör beståndsdelarna.

Regionalt är skillnaden stor för mineralgödselförsäljning. I Skåne län såldes 2020/2021 totalt ca 4 800 ton fosformineralgödsel och i Västra Götalands län var försäljningen 4 200 ton. Sammanlagt stod dessa två län för över 50 % av försäljningen i Sverige under perioden. Samtidigt under samma period såldes totalt ca 1 900 ton fosformineralgödsel sammanlagt för de elva länen Stockholms, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Blekinge, Dalarnas Gävleborgs, Västernorrlands, Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län (SCB 2022f).

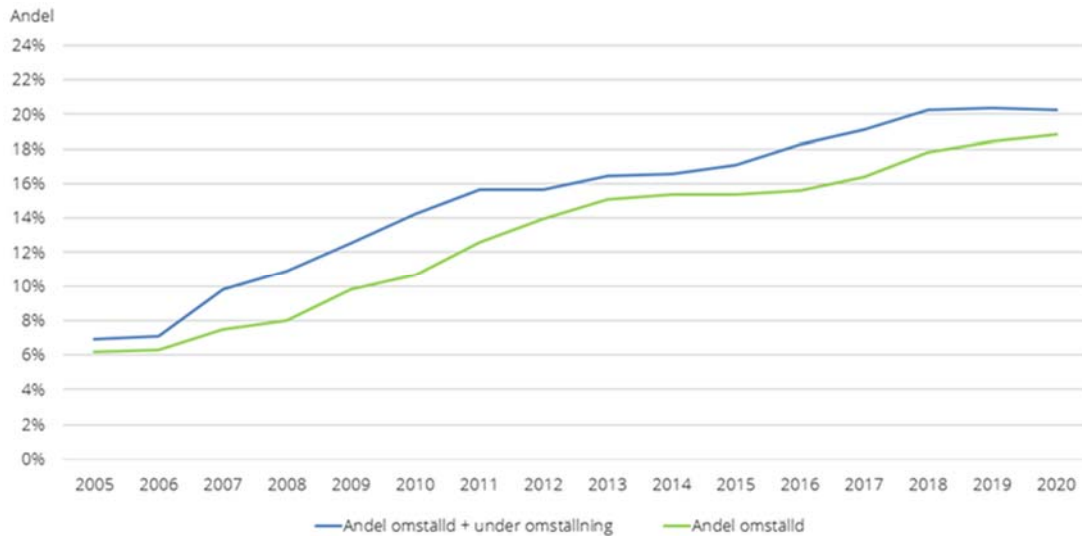
Även för kväve, kalium och svavel är Skåne och Västra Götalands läns försäljningsstatistik klart högst. För kväve och svavel står dessa två län för ca 44 % av försäljningen medan de står för nästan 56 % av mineralgödselförsäljningen av kalium. Siffrorna gäller för det brutna året 2020/2021, men de har de stått för en relativt stabil andel av den totala försäljningen även över de senaste åren (2018-2021). För samtliga näringsämnen i statistiken är Jämtland det län som köper minst mineralgödselförsäljning. I regel kan sägas att län belägna i Norrland står för en generellt liten andel av den totala mineralgödselförsäljningen (2-4 % av den totala mineralgödselförsäljningen, för såväl fosfor, kalium, kväve och svavel) (SCB 2022f).

### 3.2.2 Tillgång jämfört med behovet

I inkommande spillvatten till kommunala reningsverk finns strax över 40 000 ton kväve och lite över 5 000 ton fosfor (SCB 2022a). Enligt Johansson et al. (2021) kan avloppssystemen, om de byggs om till källsorterande system med näringsutvinning, tillgodose ca 24 % av det totala kvävebehovet och ca 17 % av det totala fosforbehovet. Om man istället jämför med möjligheten att ersätta mineralgödsel gäller att potentialen totalt är ca 25% för kväve och ca 36% av fosfor. Med dagens system där de näringsämnen som framförallt finns att tillgå återfinns i utgående slam finns ca 9 700 ton kväve per år och 5 600 ton fosfor per år (beräknade värden utifrån SCB 2020a). Om allt slam skulle återanvändas genom slamspridning samtidigt som kväveutvinning skulle tillämpas från rejektvatten skulle omkring 3,5 % av dagens försäljning av mineralkväve kunna tillgodoses och 38 % av dagens försäljning av mineralfosfor (Johansson et al., 2021).

### 3.2.3 Trender

Hur stort behovet av näringsämnen i svenskt jordbruk blir i framtiden beror på flera faktorer. Hur mycket av matproduktionen som är inhemsk påverkar behovet likväl som näringsbehovet för de grödor som odlas och djur som föds upp. Under perioden 2009-2019 har arealen jordbruksmark minskat med 2 % (Statens offentliga utredningar, 2021). Dock har volymen spannmål som produceras ökat med 17 % och volymen mjölk, nötkött och griskött minskat med 8,7 respektive 8 % (Statens offentliga utredningar, 2021). Andelen ekologiskt jordbruk påverkar även vilken typ av gödsel som är tillåtet att använda och andelen ekologiskt jordbruk ökar (se Figur 1) (Jordbruksverket, 2021).



Figur 1: Andel jordbruksmark brukad med ekologiska produktionsmetoder i procent, 2005–2020. Figur hämtad från Jordbruksverket (2021).

Även vilka riktlinjer och regler som finns kring gödselanvändning kan komma att påverka behovet där bland annat gödselanvändning enligt myndigheterna ska minska för att minska läckage. I Tabell 6 presenteras hur försäljningen av respektive näringsämne ser ut per hektar och år.

Tabell 6: Försäljning av mineralgödsel i Sverige för respektive näringsämne, kg per hektar och år (SCB 2022e).

	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021
Kväve	83	77	76	90	82
Fosfor	6	6	5	7	8
Kalium	11	12	11	13	14
Svavel	12	13	11	13	12

I Tabell 7 visas försäljningen av mineralgödsel inom jord- och trädgårdsbruk för några av växtsäsongerna mellan 1990/91 och 2018/2019 där en minskning ses från 1990 till 2010 men att försäljningen sedan ökat något under senare år.

Tabell 7: Försäljning av mineralgödsel inom jord- och trädgårdsbruk. 1990-1991 - 2017/2018 i miljoner kg (Statens offentliga utredningar, 2021).

Årtal	1990/91	2000/01	2005/06	2010/11	2015/16	2017/18	2018/19
Total försäljning	1 130,9	974,8	712,1	704,3	792,6	799,2	775,0

Behovet av näringsämnen till jordbruket varierar beroende på en rad faktorer, och kan i händelse av utökade handelsembargon eller annan kris eller krig komma att variera ytterligare. Gällande tillgången till näringsämnen i inkommande avlopp till reningsverket är de relativt stabila, som ses i Tabell 3.



## 3.3 Dagens återvinning av näringsämnen och framtidens potential och behov

### 3.3.1 Nationellt perspektiv på dagens återanvändning och återvinning

Traditionellt sett har i princip den enda andelen återanvändning av näringsämnen från avlopp skett via slamspridning (Malovanyy et al., 2022). I Sverige används i dagsläget inga andra tekniker för näringsåtervinning i större skala. Dock har ammoniakstrippning under 1992-2006 använts i fullskala i Sverige för återvinning av kväve. På RecoLab i Helsingborg finns pilotanläggningar installerade för struvitfällning och ammoniakstrippning. Andra tekniker som kontaktmembran och omvänd osmos har också testats i pilotskala. Återvunnen fosfor från slamaska har testats som djurfodertillsats (Presto Åkerfeldt et al., 2023)

Slamspridning till åkermark innebär återföring av bland annat kväve, fosfor och kalium till livsmedelskedjan (Svenskt vatten, 2019). Mängden avloppsslam som tillförs åkermark har ökat kraftigt under åren 2014-2018, från omkring 51 000 ton TS 2014 till över 82 000 ton TS 2018. 2018 utgjorde åkermarksanvändning den vanligaste slamavsättningen från reningsverk och ca 40 % av det avloppsslam som producerades i Sverige 2018 användes som gödselmedel på åkermark.

Av det slam som produceras på kommunala avloppsreningsverk är cirka hälften av avloppsslammet certifierat enligt kvalitetssystemet Revaq, och motsvarar också produktion av avloppsslam från omkring hälften av landets befolkning (ca 5 miljoner personer är anslutna till Revaq-certifierade reningsverk) (Svenskt vatten, 2022). Av det slam som spreds på åkermark 2018 utgjorde slam från Revaq-certifierade verk ca 80 % av den totala spridningsmängden (SCB 2020; Svenskt vatten, 2019). Andelen av slammet som återanvänds genom skogsmarksanvändning har under perioden 2014-2020 varit låg och minskande under åren 2014-2018, från 570 ton TS 2014 till 137 ton TS 2018. Det är under dessa år främst Skåne län som använt slam på skogsmark, men 2014 även Västerbottens och Västra Götalands län i mindre skala. Under rapporteringsåret 2020 gick skogsmarksanvändningen upp igen, till 440 ton TS, och då hade Hallands län samt Örebro län också tillkommit till skogsmarksanvändarna, medan Skåne län fortsatt minskat sin skogsmarksanvändning (SCB 2022d).

Från de Revaq-certifierade avloppsreningsverken återfördes 2021 ca 63 000 ton slam till jordbruksmark (mätt i TS-mängder). Slamspridningen från de certifierade anläggningarna 2021 bidrog till återförande av 1 983 ton fosfor och 3 228 ton totalkväve, samt ca 40 000 ton organiskt material. Utöver detta medför slamspridningen en tillförsel av mikronäringsämnen och andra makronäringsämnen som kalium, svavel och magnesium. Den spridna mängden avloppsslam 2021 motsvarar inte mängden totalt godkänt slam under 2021 utan nästan 10 % av det godkända slammet under 2021 spreds ej (Svenskt vatten, 2022). Med en estimering av kväve- och fosformängder totalt från svensk slamspridning, inräknat de 20 % som inte är Revaq-certifierat, innebär det en total återföring av strax över 4 000 ton kväve och strax under 2 500 ton fosfor.

Andra avsättningsvägar för slammet under 2018 (senaste tillgänglig statistik från SCB) utgjordes framförallt av tillverkning av anläggningsjord och deponitäckning. En relativt stor andel har redovisats som "annan användning" (SCB 2020).

I områden som inte är anslutna till kommunalt avlopp finns på några ställen i Sverige insamling av bland annat svartvatten för hygienisering och spridning. I försöksskala pågår



även försök med bland annat urininsamling i offentliga "bajamajor" och spridning av torkad urin som gödselmedel. På anläggningen RecoLab som drivs av Nordvästra Skånes VA pågår försök för ökad näringsåtervinning från källsorterade avlopps- och avfallsfraktioner. Tekniker för återvinning beskrivs mer utförligt i kommande delsynteser.

### 3.3.2 Regionalt perspektiv på dagens återvinning

Avsättningen av avloppsslam i Sverige ser väldigt olika ut i olika regioner i Sverige. För statistikperioden 2014-2020 kunde man se i SCB:s statistik (2022d) att näst intill inget avloppsslam spreds på jordbruksmark i de nordligaste länen, Dalarna, Gävleborg, Västernorrland, Jämtland, Västerbotten och Norrbottens län. Västerbottens län utgör ett undantag bland de nordliga länen och har haft viss slamspridning under de senaste rapporteringsåren. 2014 fanns en marginell spridning i Dalarna och i Jämtland, men under 2016, 2018 och 2020 var spridningen även i dessa län noll. I Västerbottens län har under 2016-2020 spridits små mängder slam, motsvarande 1-2 % av total nettoproduktion. Även på Gotland har jordbruksanvändningen tidigare varit ganska marginell. Nu är dock Gotlands största reningsverk Revaq-certifierat och ca 80 % av slammet från regionen sprids lokalt, medan slam från övriga reningsverk (ca 20 %) skickas till fastlandet (Bohman, 2022). Den lilla andel slam som används för skogsgödsling har tidigare skett framförallt i Skåne län, men har minskat från redan låga nivåer och låg under 2020 på enbart 0,3 % av den totala slammängden i regionen, medan Hallands och Örebro län under 2020 börjat en viss spridning av slam på skogsmark och under 2020 spred ca 2 % av sin nettoproduktion till skog (SCB 2022d). I skriften "Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk" kan man läsa att det på de flesta skogsmarker i Sverige är kväve som är begränsande och att tillförsel av fosfor inte bidrar till skogens tillväxt. Undantaget utgörs av torvmark som kan vara fosfor- och kaliumbegränsade. Handboken förordar vid dessa förhållanden fosforgödsling med svårslöslig fosforkälla ur både produktions- som miljösynpunkt (Jacobson et al., 2005).

För de län där slam inte används, eller används mycket marginellt, till jordbruksmark är den dominerande användningen under statistikperioden 2014-2018 deponitäckning, tillverkning av anläggningsjord samt 'annan användning' (SCB, 2020).

### 3.3.3 Internationellt perspektiv på dagens återvinning

Internationellt ser perspektiven på återanvändning och återvinning av näringsämnen skiftande ut. Beroende på kulturgeografiska anledningar, så som befolkningsdensitet, jordbrukstradition och grundvattenförutsättningar ser samhällssynen på återbruk av näringsämnen från avlopp mycket olika ut i olika länder, så även inom EU. Medan vissa länder lagstiftat för slamspridningsförbud (i vissa fall med krav på fosforåtervinning från avlopp eller slamfas) har man i vissa andra länder snarare gått mot en ökad slamspridning. Detta gäller till exempel i Danmark, där mängden slam som sprids på åkermark har ökat och där det finns uttalade mål om ökad recirkulation av biomassa till jordbruket, som också får effekt på cirkulationen av näringsämnen (Foged Larsen, 2021).

I Tyskland, där man 2017 ändrade sitt regelverk kring slam användning och införde krav på fosforåtervinning finns ett antal återvinningsanläggningar på plats och flera andra är under uppförande eller planerade. Under 2023 ska alla avloppsanläggningar enligt det nya regelverket analysera sina fosforvärden i slammet och presentera en plan på fosforåtervinning eller jordbruksanvändning samt annan bortförsl av slam. Från 2029 kommer krav på fosforåtervinning för alla storlekar av reningsverk träda i kraft, samtidigt som slamspridning på åkermark förbjuds för anläggningar större än 100 000 PE. Från 2032 införs förbud för åkermarksspridning även för anläggningar större än 50 000 PE. Mindre anläggningar tillåts fortsatt att sprida sitt slam på åkermark även efter 2032. Kravet på



fosforåtervinning är ställt så att minst 20 g fosfor per kg slam (TS) måste återvinnas. Dock har det visat sig problematiskt under mätningar då variationen av fosforinnehåll i slammet varierar kraftigt och ligger ibland under återvinningskravet. De anläggningar för fosforåtervinning som är på plats utnyttjar tekniken för struvitfällning på rejektvatten, och ytterligare struvitanläggningar är under konstruktion och planerade. På slamsidan finns (sommaren 2022) 4 st anläggningar under uppbyggnad och 2 st planerade. Dessa anläggningar använder olika tekniker för fosforåtervinning (Roskosch, 2022).

Totalt i Tyskland producerades ca 1 740 000 ton TS avloppsslam 2019 och ungefär samma nivåer 2017 när det nya regelverket trädde i kraft. 75 % av slammet förbrändes redan då, och de återstående 25 % fördelas mellan jordbruksanvändning, anläggningsjord och annan återvinning. Av de ca 1 300 000 ton slam som förbränns idag sker ca 38 % av förbränning i monoförbränningsanläggningar (anläggningar där enbart slam bränns utan inblandning av annat avfall), resterande i samförbränningsanläggningar. År 2029 förutspås ungefär samma mängd monoförbrännas som idag bränns totalt (1 300 000 ton TS). Resterande ca 400 000 ton beräknas då samförbrännas eller användas på jord. Även om det finns stora förändringar att få på plats för implementerandet av det tyska regelverket så är förutsättningarna andra än i många andra länder, som Sverige, på många sätt. De stora slammängderna (hög befolkningsdensitet) och den redan tydliga trenden mot ökad och hög slamförbränning utgör särskiljande drag för den tyska slamhanteringen. Det nya regelverket beräknas öka fosforåtervinningen från avloppsslam i landet från ca 20 % 2016 till mer än 65 % 2029, vilket beräknas kunna ersätta ca 38 % av landets mineralgödselanvändning (Roskosch, 2022). En annan stor skillnad mellan Tysklands och Sveriges förutsättningar är de olika regelverk som reglerar gränsvärden i slam, där Sverige har en mångfald striktare lagstiftning för slam användning på jordbruksmark och där de som är anslutna till kvalitetssystemet Revaq har ytterligare striktare krav att leva upp till.

I Österrike tog man under åren 2013-2016 fram en fosforbudget och en utvärdering av fosforutvinningstekniker som grund till en förändring av sin nationella avfallshanteringsplan 2017. I fosforbudgeten klassade man olika åtgärder för möjlighet att bidra till en förbättrad fosforbudget, samt hur enkelt det bedömdes att åtgärda. De två åtgärder som ansågs ge störst effekt och samtidigt inte vara för svåra att åtgärda var återvinning av fosfor från avloppsslam och från ben- och köttmjöl (Amann, 2022).

Liksom i Tyskland föreslogs fosforåterföringskrav och att jordbruksanvändning av slam bör fasas ut för att minska risken för att skadliga ämnen tillförs livsmedelskedjan. Inför en lagändring gjorde man en storskalig analys av 633 avloppsreningsverk på över 2000 PE med hjälp av modellering, där man tog hänsyn till olika regionala förutsättningar. I slutsatserna från modelleringen såg man att reningsverk under 20 000 PE skulle drabbas av stora kostnader, men bidra väldigt litet till den totala fosforåtervinningen. En viktig slutsats var att ett krav på fosforåtervinning från slamaska skulle ge en effektiv användning av befintliga monoförbränningsanläggningar i landet. Utredningen landade därför i ett förslag (sommar 2022) till nya avfallsförbränningsregler som stipulerar att för slam från reningsverk på över 20 000 PE ska minst 80 % av fosfor från slamaska återvinnas, alternativt får fosfor återvinnas utan föregående förbränning och då gäller att minst 60 % av fosfor i inkommande vatten till reningsverket. Liksom i Tyskland finns en befintlig infrastruktur för förbränning av slam, inklusive befintliga anläggningar för monoförbränning (Amann, 2022).

### 3.3.4 Framtida potential av näringsåtervinning ur ett nationellt och regionalt perspektiv

Tekniker för återvinning av näringsämnen från såväl avlopp som andra källor är under utveckling inom och utanför Sveriges gränser. Samtidigt som det sker en stor



teknikutveckling inom området återvinning från avlopp genom olika processer, som kemisk utvinning från aska eller rejektvatten, sker också motsvarande utveckling från andra restströmmar.

Potentialen för avsättning av återvunnen näring är svårberäknad då marknaden för gödselmedel är i vad som tycks vara ett paradigmskifte beroende av flera faktorer samtidigt. Processteknisk utveckling för återvinning av näringsämnen från avlopp sker både bland svenska bolag, som EasyMining, Ekobalans, Santiation360, Kemira med flera, och av andra bolag utanför Sveriges gränser.

För de delar av landet där återbruket av näringsämnen är minst idag – framför allt i landets norra delar – kan många av de tekniker som är under utveckling fortfarande komma att bli svåra att tillämpa på grund av långa transportavstånd och mindre slammängder.

Förutom de processtekniker som nämns ovan som ofta, men inte alltid, kräver stora volymer och storskaliga system för att bli effektiva ur ekonomiska och energimässiga perspektiv sker också ett visst skifte mot att fler kommuner pratar om möjligheten att decentralisera delar av avloppssystemen och bygga upp mindre källsorterade system i till exempel nya stadsdelar.

I och med den nya lagstiftningen inom EU som reglerar gödselmedel, Fertilizing products regulation, öppnas även EU:s inre marknad upp för försäljning av de återvunna produkter som uppfyller lagstiftningens krav. Därmed kan framtida näringsåtervinning komma att fungera på helt andra sätt än dagens återvinning som till stor del består av spridning av avvattnat slam, en teknik som ställer krav på lämplig avsättning i närområdet från avloppsreningen. Samtidigt innebär regelverket att även import av återvunna näringsämnen kan öka från andra delar av EU till Sverige. Tillämpningsområdena av lagstiftningen för att tillverka cirkulära gödselprodukter med utgångspunkt i avlopp eller avloppsslam är idag dock begränsade, men kan komma att inkluderas i högre grad i framtida revideringar av regelverket som görs med jämna mellanrum.

### 3.4 Alternativa tillgångar

Förutom dessa förändringar inom avloppsbranschen kommer tillgången på gödselprodukter från inhemsk produktion sannolikt öka stort om de industrisatsningar som beviljats i norra Sverige byggs och blir verklighet. Det finns projekt på gång som utlovat stora mängder fosfor från alternativa källor, så som LKAB:s stora projekt ReeMAP för fosforutvinning från gruvavfall. Återvinningsanläggningen planeras förläggas i Luleå och ska enligt samrådshandlingarna kunna förse Europa med fosfor motsvarande 5 gånger Sveriges mineralfosforbehov, samt även bland annat gips motsvarande hela Sveriges byggsektors behov. I planerna för den nya verksamheten ingår också tillverkning av ammoniak som i sin tur ska användas bland annat som insatsmedel i mineralgödseltillverkning tillsammans med den utvunna fosfor. Ammoniaken kan också komma att användas för tillverkning av ammoniumnitrat till mineralgödsel eller tillverkning av sprängmedel (LKAB, 2022).

Ett bolag i SSAB-koncernen säljer redan idag ammoniumsulfat som kan användas som gödselmedel, framställd som en biprodukt från koksugns gasen från SSAB:s koksanläggning i Oxelösund (Holmgren et al., 2020). Enligt egna uppgifter produceras ca 7 000 ton ammoniumsulfat per år vid anläggningen (SSAB EMEA AB, 2022).

RagnSells har genom dotterbolaget EasyMining fyra olika processer för att utvinna kväve, fosfor respektive kalium ur restströmmar. För dessa tekniker kan återvinningen komma att



vara aktuell från fler restströmmar än spillvatten och slam där exempelvis gruvavfall utnyttjas för tekniken CleanMap och flygaska från avfallsförbränning används i tekniken Ash2Salt (EasyMining 2022).

För kalium finns också planer för återvinning från restströmmar från de batterifabriker som är under uppbyggnad i landet men även restströmmar från massabruk. Cinins Fertilizers AB är ett bolag som planerar att uppföra två anläggningar för cirkulärt och fossilfritt kaliumsulfat under de kommande åren (2023 respektive 2025). Anläggningarna ska använda restprodukter från massabruk och batteritillverkning som råvara för sin mineralgödselproduktion. Den beräknade årsproduktionen av kaliumsulfat från de första två anläggningarna, 300 000 ton per år, är redan uppköpt av den holländska gödselmedelsproducenten Van Iperen International. På sikt planerar man även för två ytterligare anläggningar i samarbete med det tyska gruvbolaget K+S (Jordbruksaktuellt, 2022). Även den internationella mineralgödselaktören Grupo Fertiberia har släppt nyheter om att de planerar en framtida anläggning i Boden-Luleå-regionen som ska producera 1 500 ton/dag av grön ammoniak (Grupo Fertiberia, 2021). Under juni 2022 har bolaget enligt sin hemsida invigt sin anläggning för kvävegödselmedel från grön växtgas i Puertollano (Spanien), och nämner i pressmeddelandet från invigningen ett fortsatt arbete mot en framtida etablering i Norrbotten (Fertiberia, 2022).

Det finns också några större projekt som tittar på produktifiering av djurgödsel. Ett av projekten invigdes november 2022 vid Alviksgården i Luleå kommun, där rötrest från grisproduktion avvattnas, indunstas, torkas och pelleteras. Kapaciteten på anläggningen anges till 30 000 ton rötrest/år med en TS-halt på 3-4 % (Purac AB 2022). I Kalmar pågår ett 3-årigt projekt vid More Biogasanläggning. Bakgrunden är att regionen har en intensiv animalieproduktion med följdproblematiken att det blir ett överflöd av näringsämnen i regionen som leder till övergödning. Avsättning för biogödseln är en huvudfråga för verksamheten och i projektet ska olika tekniker för produktifiering undersökas. Avvattning och produktifiering är en nödvändighet för att möjliggöra hållbar transport av näringsämnen till andra regioner som har en annan näringsämnesbalans då rötresten idag innehåller 90-95 % vatten (Sindhøj, 2020).

### 3.5 Rekommendationer relaterade till delsyntesen

Framöver behövs bättre dataunderlag om "andra användningsområden" av slam, samt för andra närsalter som exempelvis kalium och svavel. Det krävs också en ökad förståelse för behovet av gödsel i framtidens jordbruk för att kunna dra säkra slutsatser om hur mycket som kan tillgodoses av näringen i avloppsvattnet.

## 4 Referenser

- Amann, A. 2022. Towards a National Phosphorus recycling Policy in Austria.
- Bohman, L., 2022. Slamanvändning på Gotland.
- Brownlie, W., M.A. Sutton, Heal, K.V., Reay, D.S., Spears, B.M. 2022. The Our Phosphorus Future Report. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17834.08645>
- EasyMining, 2022. CleanMap [WWW Document]. CleanMap. URL <https://www.easymining.se/technologies/cleanmap/> (accessed 11.14.22).
- Fertiberia, 2022. His Majesty the King inaugurates Fertiberia's green ammonia and green fertiliser plant in Puertollano, the first in the sector worldwide [WWW Document]. URL





- <https://www.grupofertiberia.com/en/new/carrusel/his-majesty-the-king-inaugurates-fertiberia-green-ammonia-and-green-fertiliser-plant-in-puertollano/> (accessed 11.14.22).
- Foged Larsen, P. 2021. Status för slam i Danmark -Genanvend Biomasse.
- Fossilfri mineralgödsel [WWW Document], 2022. Yara Sver. URL <https://www.yara.se/vaxtnaring/fossilfri-mineralgodsels/> (accessed 4.25.24).
- Grupo Fertiberia, 2021. Grupo Fertiberia deploying the first large-scale green ammonia & fertiliser plant in Sweden.
- Holmgren, G., K Larsson, F., H Johansson, M., Lindblad Hammar, I. 2020. Hållbar slamhantering SOU 2020:3, Statens offentliga utredningar. Stockholm.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L., Sikström, U. 2005. Skogsgödsling - en handbok från Skogforsk (Handledning). Uppsala.
- Johansson, M., Magnusson, S., Jönsson, H. 2021. Ökad cirkularitet och minskad övergödning: potentialen i svenskt lantbruk och livsmedelskedja. WWF.
- Jönsson, H. 2019. Fosfor, kväve, kalium och svavel – tillgång, sårbarhet och återvinning från avlopp (Rapport No. 105). Uppsala.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model (No. 2005:6), The Mistra Program Urban Water.
- Jordbruksverket, 2021. Ekologisk växtodling 2020 [WWW Document]. URL <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-05-19-ekologisk-vaxtodling-2020> (accessed 11.8.22).
- LKAB 2022. Samrådsunderlag LKAB:s cirkulära industripark i Luleå.
- Malovanyy, A., Johannesdottir, S., Schwede, S., Ahlgren, S., Flodin, E., Shanmugam, K. 2022. Återvinning av -näringsämnen från avlopp (No. 2022– 06). Svenskt Vatten Utveckling.
- Ostermeyerr, P., Capson-Tojo, G., Hülsena, T., Carvalho, G., Oehmen, A., Rabaey, K., Pika, I. 2022. Resource Recovery from Water: Principles and Application. Ilje Pikaar, Jeremy Guest, Ramon Ganigué, Paul Jensen, Korneel Rabaey, Thomas Seviour, John Trimmer, Olaf van der Kolk, Céline Vaneekhaute, Willy Verstraete. <https://doi.org/10.2166/9781780409566>
- Presto Åkerfeldt, M., Stiernström, S., Sigfridson, K., Ivarsson, E. 2023. From sewage sludge ash to a recycled feed phosphate – digestibility of precipitated calcium phosphate in broiler chickens and growing pigs. animal 17, 100819. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100819>
- Purac AB 2022. Produktion av Pelleterad Biogödsel.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kumm, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L., Rockström, J. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. Sci. Adv. 9, eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Roskosch, A. 2022. Implementation of Germany's 2017 P-recycling regulation.
- SCB 2022a. In- och utsläpp från kommunala avloppsreningsverk efter recipient/reningsmetod/storleksklass, substans, tabellinnehåll och vartannat år. [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START MI MI0106/MI0106T07/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T07/) (accessed 4.26.24).
- SCB 2022b. Sveriges befolkning [WWW Document]. Stat. Cent. URL <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/sveriges-befolkning/> (accessed 11.2.22).



- SCB 2022c. Näringsämnen, metaller och organiska miljögifter efter storleksklass, substans och vartannat år. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T05/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T05/) (accessed 4.26.24).
- SCB 2022d. Produktion och användning av slam, ton torrsbstans efter användningskategori och vartannat år. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T03/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T03/table/tableViewLayout1/) (accessed 11.23.23).
- SCB 2022e. Försäljning av mineralgödsel, kg per hektar utnyttjad åkerareal efter region, växtnäringsämne och år, brutna. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI1002/ForsHandelsgodse/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI1002/ForsHandelsgodse/table/tableViewLayout1/) (accessed 9.29.22).
- SCB 2022f. Försäljning av mineralgödsel, 1000 ton efter region, växtnäringsämne och år, brutna. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI1002/ForsHandelsgodse/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI1002/ForsHandelsgodse/table/tableViewLayout1/) (accessed 11.14.22).
- SCB 2021. Befolkningen efter region, avloppsanslutning och vart 5:e år. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0902\\_MI0902C/MI0902T01/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0902_MI0902C/MI0902T01/table/tableViewLayout1/) (accessed 11.3.22).
- SCB 2020. Produktion och användning av slam från reningsverk efter region och användningskategori. Vartannat år 2014 - 2018 [WWW Document]. Statistikdatabasen. URL [http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T03/](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T03/) (accessed 11.3.22).
- Sindhøj, E. 2020. Gödsel förädling i anslutning till More Biogas [WWW Document]. URL <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/godsselforadling-i-anslutning-till-more-biogas> (accessed 11.14.22).
- SSAB EMEA AB 2022. Merlandet [WWW Document]. Ammoniumsulfat. URL (accessed 11.14.22).
- Statens offentliga utredningar, 2021. Vägen mot fossiloberoende jordbruk. Regeringskansliet, Stockholm.
- Stenström, F., la Cour Jansen, J., Andersson Chan, A., Eliasson, M., Eriksson, Y., Marsteng, A.-K., Sehlén, R., Thelin, G. 2017. Rejektvattenbehandling – en kunskaps-samman-ställning (No. 2017–11).
- Svenskt vatten, 2022. Revaq årsrapport 2021 (No. R2022- 02). Stockholm.
- Svenskt vatten, 2019. Revaq årsrapport 2018. Stockholm.
- Sweden Water Research, 2021. Kretslopp sluts med nytt toalettsystem [WWW Document]. Swed. Water Res. URL <https://www.swedenwaterresearch.se/bolagsnyheter/kretslopp-sluts-med-nytt-toalettsystem/> (accessed 11.8.22).
- von Bahr, B., Kärrman, E. 2019. Tekniska processer för fosforåtervinning ur avloppsslam.
- Wainwright, R., 2018. A World of Sulfur [WWW Document]. World Fertil. URL <https://www.worldfertilizer.com/special-reports/24122018/a-world-of-sulfur/> (accessed 11.14.22).



# Delsyntes 1c: ENERGI

## Tillgång, behov, dagens återbruk och framtidens potential

I denna delsyntes presenterar vi tillgång och behov av energi i Sverige med fokus på tillgång i avloppsvatten. Med tillgängliga data har vi försökt beskriva regionala skillnader och hur tillgång respektive behov varierar i tid och rum. Syftet med denna sammanställning är att visa på hur tillgången är fördelad och hur användningen ser ut idag och kan komma att förändras.

Denna delsyntes består av två delar; projektgruppens samlade bedömning och kunskapsunderlaget för delsyntesen. I projektgruppens samlade bedömning listas huvudpunkter som projektgruppen vill lyfta fram som viktiga aspekter kopplat till återvinning och återanvändning av resurser från avloppsströmmar. I kunskapsunderlaget presenteras den litteratur som ligger till grund för dessa punkter.

## 1 Sammanfattning

I Sverige uppgår energianvändningen till 355 TWh och energin från avloppsvatten utgör endast en väldigt liten del av detta. Även om Sverige har tillgång till flera olika energikällor och andelen förnybara energikällor ökar så är Sverige beroende av energiimport (ca 30 %) främst av drivmedel som diesel och bensin men även av naturgas, biogas och el (under vissa perioder). Samhällsomställningen till mindre fossilt energiberoende innebär att Sverige är i behov av stora mängder energi från olika energikällor även framöver. Avloppsvattenrening är själv en energikrävande process som genom energieffektivisering och utökad energiåtervinning kunde bli en viktig aktör i omställningen av samhället.

I avloppsvatten finns energi i form av värme, kemiskt bunden energi i form av organiskt material och näringsämnen, samt eventuellt rörelseenergi vid fallhöjd i vattnets transportväg. I avloppsvatten finns 80 % av energin i form av värme, och värmeenergin i avloppsvatten motsvarar ca 7 TWh för Sverige där en viss del av detta uppskattas kunna utvinnas. Biogas från svenska avloppsreningsverk står idag för 0,7 TWh/år och spås inneha potential framför allt för att ersätta fossila bränslen i exempelvis fartyg. Energin i avloppsvatten finns oavsett om den nyttjas eller ej och det finns en stor potential för att öka både värmeåtervinningen och utvinningen av biogas. En del av energin som finns i avloppsvatten och producerat slam kan även nyttjas i själva slamhanteringen och för att återvinna andra resurser från avloppsvatten såsom närsalter.

För att kunna nyttja denna resurs rekommenderar projektgruppen en översyn av VA-kollektivets arbetsuppgifter där delaktighet i energiproduktion/optimering skulle kunna lyftas fram som en del av uppdraget. Detta för att kunna ge VA-organisationer mandat för att i större omfattning prioritera och investera i energiproduktion från avlopp.



## Innehåll

1	Sammanfattning .....	1
2	Projektgruppens samlade bedömning .....	2
2.1	Tillgång på energi .....	2
2.2	Behov av energi .....	2
2.3	Dagens återbruk av energi.....	2
2.4	Återbrukspotential.....	3
3	Kunskapsunderlag för delsyntesen.....	3
3.1	Energi som resurs.....	3
3.2	Avloppsvatten som energiresurs.....	4
3.3	Behovet .....	8
3.4	Trender .....	10
3.5	Tillgång vs. behovet av energi .....	14
3.6	Internationellt perspektiv .....	14
4	Referenser.....	15

## 2 Projektgruppens samlade bedömning

### 2.1 Tillgång på energi

Sverige har en mångfald av energikällor, men energi från avloppsvatten utgör endast en liten del av totalen, cirka 0,5 %, huvudsakligen från biogas och värmeåtervinning. Andelen förnybara energikällor som sol- och vindkraft förväntas öka, medan trenden för kärnkraft är osäker. Sverige är beroende av energiimport, särskilt drivmedel som diesel och bensin, men även naturgas, biogas och el. Energin i avloppsvatten ligger på en relativt stabil nivå, även om mängden avloppsvatten kan variera något över tid. Trots det utnyttjas endast en liten del av avloppsvattnets potentiella energiinnehåll.

### 2.2 Behov av energi

För att minska beroendet av fossila bränslen och öka redundansen behöver Sverige en diversifierad energimix. Som leverantör av grön energi till andra EU-länder vid energiöverskott kan Sverige bidra till att minska det globala fossilberoendet. Myndigheter förutspår att Sveriges totala energibehov inte kommer att öka till år 2050, men ett skifte mot ökad efterfrågan på fossilfri el och bioenergi är tydligt, främst på grund av miljömål och geopolitiska faktorer. Klimatförändringar förväntas leda till ett mer jämnt energibehov under året, med mindre uppvärmningsbehov under vintern och större kylbehov under sommaren. Avloppsvattenrening är i sig en energikrävande process, men energianvändningen har minskat de senaste åren, även om nya krav på rening och potentiella förbud mot slamspridning kan öka energiförbrukningen på grund av mer energiintensiva processer som membranseparation och ozonering.

### 2.3 Dagens återbruk av energi

Energi som återanvänds från avloppsvatten, i form av biogas och värmeåtervinning, utgör en liten andel av Sveriges totala energiproduktion. Biogasproduktionen från kommunal avloppsvattenrening kan öka genom utökad rötning och processoptimering, vilket kan ge upp till 65 % mer biogas. Förbättringspotentialen finns också i att nyttiggöra producerad biogas, eftersom idag 12 % av avloppsreningsverkens biogas facklas bort, medan Sverige



importerar nästan 50 % av sin biogas. Samtidigt används biogas allt mindre i lätta fordon eller kommunal trafik, medan produktionen av flytande biogas ökar, vilket kan användas i tunga transporter. Endast en bråkdel av den värmeenergi som finns i avloppsvatten utnyttjas, huvudsakligen genom värmepumpar vid några avloppsreningsverk och värmeåtervinning för specifika processer som slamrötning och termisk hydrolys.

## 2.4 Återbrukspotential

Återvunnen energi från avloppsvatten kommer även i framtiden endast täcka en liten del av Sveriges totala energibehov. Dock skulle flera avloppsreningsverk kunna bli energipositiva genom utökad energiåtervinning från biogas och värme. Biogasproduktion från avloppsslam har potential att ersätta fossila drivmedel och uppfylla industriella behov som idag tillgodoses med fossila energigas. Biogas från avloppsreningsverk kan också ersätta flytande naturgas (LNG) som bränsle. Det finns även en stor potential att återvinna värmeenergi från avloppsvatten, både vid hushållen och vid reningsverk. För vissa industrier, som de som använder kylvatten från kärnkraft, går nästan 20 % av Sveriges totala energiproduktion förlorat genom outnyttjad värme, vilket indikerar potentialen för återvinning. Termiska slambehandlingstekniker som torkning, förbränning, HTC, förgasning eller pyrolys kan bidra till framtida energiflöden, även om de ofta inte genererar nettoenergi på grund av slammets höga vatteninnehåll.

# 3 Kunskapsunderlag för delsyntesen

*Om inget annat anges så ligger data från Energimyndigheten (2022) till grund för kunskapsunderlaget nedan.*

## 3.1 Energi som resurs

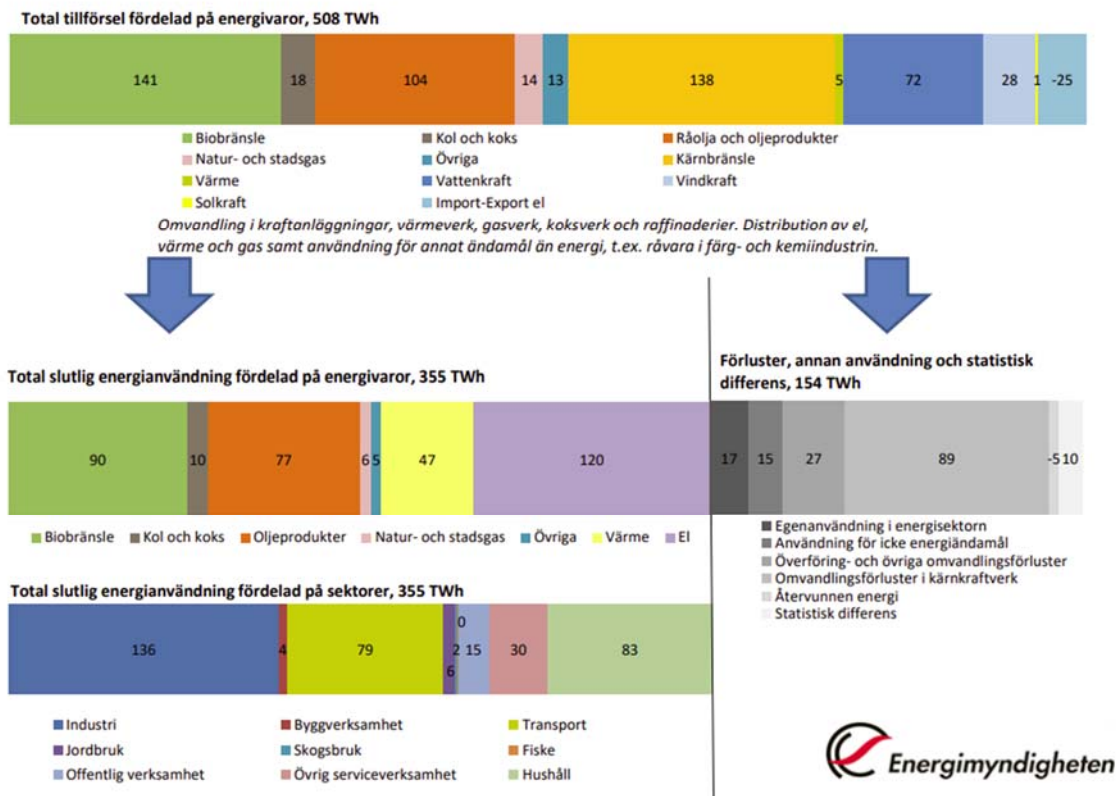
Sveriges totala energiproduktion under 2020 uppgick till cirka 508 TWh, vilket inkluderar alla källor av energi, såsom kärnkraft, vattenkraft, vindkraft, biobränslen och andra energikällor. Av den totala energiproduktionen används cirka 355 TWh, med omkring 30 % förluster från produktion till användning. Särskilt stora är förlusterna inom kärnkraft, där 88 TWh gick förlorade under 2020 på grund av att kylvattnet inte används för uppvärmning.

Andelen förnybar energianvändning i Sverige under 2020 var cirka 60 %, enligt Energimyndigheten 2022, vilket är den högsta andelen i EU enligt Eurostat 2022. Detta innebär att Sverige är ett av de mest framstående länderna i Europa när det gäller användning av förnybara energikällor. Trots den höga andelen förnybar energianvändning importerar Sverige cirka 29 % av den energi som konsumeras, enligt Eurostat 2022. Denna import består till stor del av fossila bränslen, men också av el under vissa perioder. Under 2020 importerade Sverige totalt 14 TWh naturgas, vilket utgör en relativt liten del av landets totala energiförsörjning, cirka 3 %.

Sverige var nettoexportör av el under 2020, med en nettoexport på 25 TWh. Detta innebär att Sverige producerade mer el än det konsumerade, vilket bidrar till den totala energibalansen i landet. Genom exporten kan Sverige även hjälpa andra länder med energiförsörjning och bidra till en stabil energimarknad i Europa.



## Energitillförsel och energianvändning i Sverige 2020, TWh



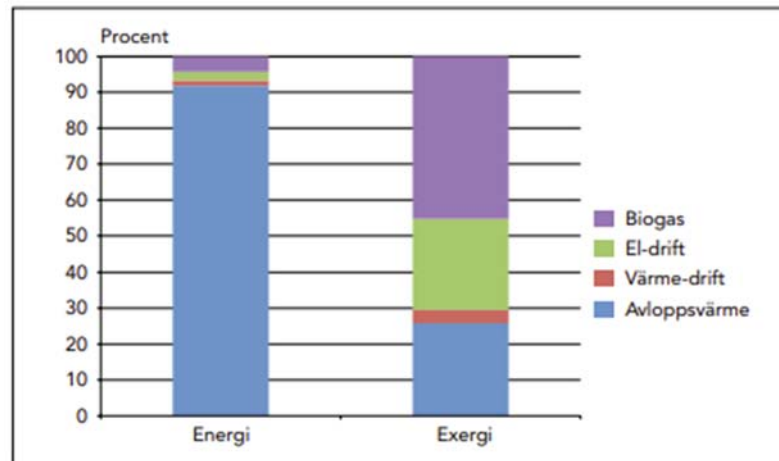
Figur 1. Energitillförsel och användning i Sverige 2020 (hämtad från Energimyndigheten 2022).

### 3.2 Avloppsvatten som energiresurs

Energi i avloppsvatten kan finnas i flera former. Den första är värmeenergi, vilket främst återfinns i grävatten från hushåll, processvatten från industrier och kylvatten från elproduktion. Den andra är kemiskt bunden energi, som kommer från organiska material och näringsämnen i toalettwater och andra organiska restströmmar. Den tredje formen är rörelseenergi, vilket kan uppstå vid fallhöjd i vattnets transportväg, men detta bedöms endast vara tillämplbart i begränsad skala och specifika situationer. Fokus ligger därför främst på de två förstnämnda energiformerna.

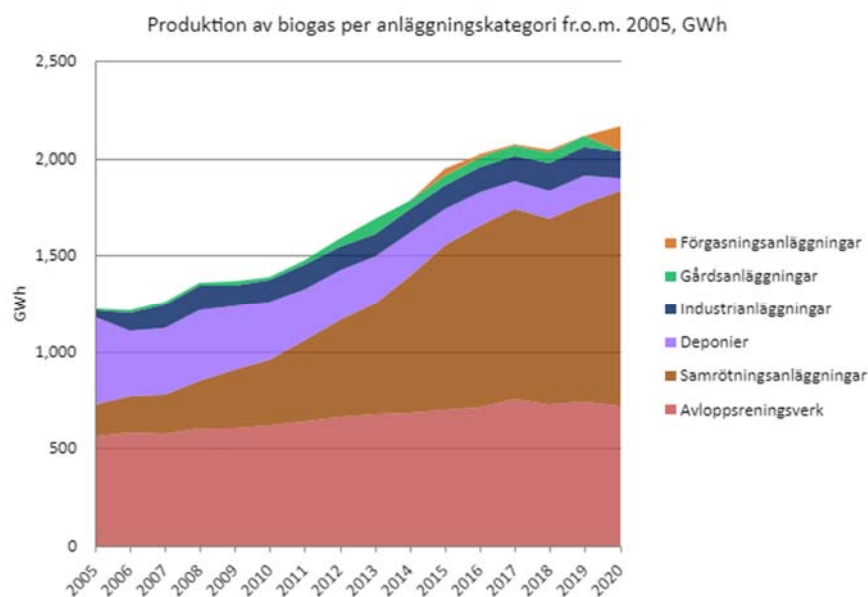
Den största delen av energiinnehållet i kommunalt avloppsvatten utgörs av värme, som står för cirka 80 % av den totala energin. Biokemiskt bunden energi i form av COD (Chemical Oxygen Demand), som kan omvandlas till högvärdig energi i form av biogas, utgör cirka 15 %. Energi kopplad till näringsinnehållet av kväve och fosfor står för cirka 5 % av det totala energiinnehållet (Arnell et al., 2021).

När man genomför energianalyser utan att beakta energikvalitén, framstår värmeenergin i avloppsvattnet som det dominerande energiflödet vid avloppsreningsverk (Balmér och Hellström, 2011). Men om man tar hänsyn till energikvaliteten (exergi), blir det tydligt att den kemiska energin i avloppsvattnet är det viktigaste energiflödet (Figur 2). Detta visar att både värme och kemiskt bunden energi är centrala komponenter när man överväger energiåtervinning från avloppsvatten, med potential att utnyttjas genom biogasproduktion och värmeåtervinning.



Figur 2. Några energi- och exergiflöden (som % av den totala summan för energi- respektive exergiflöde som ingår i exemplet) för ett tänkt reningsverk (Balmér och Hellström, 2011).

Svenskproducerad biogas stod för cirka 2,3 TWh per år, vilket motsvarar knappt 0,5 % av Sveriges totala energiförbrukning. Utöver den inhemska produktionen importerar Sverige cirka 2,2 TWh biogas årligen, huvudsakligen från Danmark. Av den svenska biogasproduktionen kommer cirka 0,7 TWh per år från avloppsreningsverk, vilket utgör ungefär 30 % av den totala biogasproduktionen i landet (Energimyndigheten 2022; Figur 3).



Figur 3. Utveckling över nationell biogasproduktion per anläggningstyp år 2005–2021 (hämtad från Energimyndigheten 2022).

Dagens biogasproduktion i Sverige skattas till 89 kWh per person-ekvivalent (pe) och år, enligt Svenskt Vatten (2021). Majoriteten av biogasproduktionen sker vid de största avloppsreningsverken, ofta med tillsats av externt organiskt material (EOM). Detta värde överensstämmer med den inrapporterade biogasproduktionen till Energimyndigheten när multiplicerat med det totala antalet anslutna pe i Sverige.

Av den producerade biogasen uppgraderas 67 %, 18 % används som värme, 3 % går till industriell användning, 2 % används för elproduktion, 9 % facklas, och resterande 2 % klassificeras som övrig användning eller utgör saknad data/värmeförluster

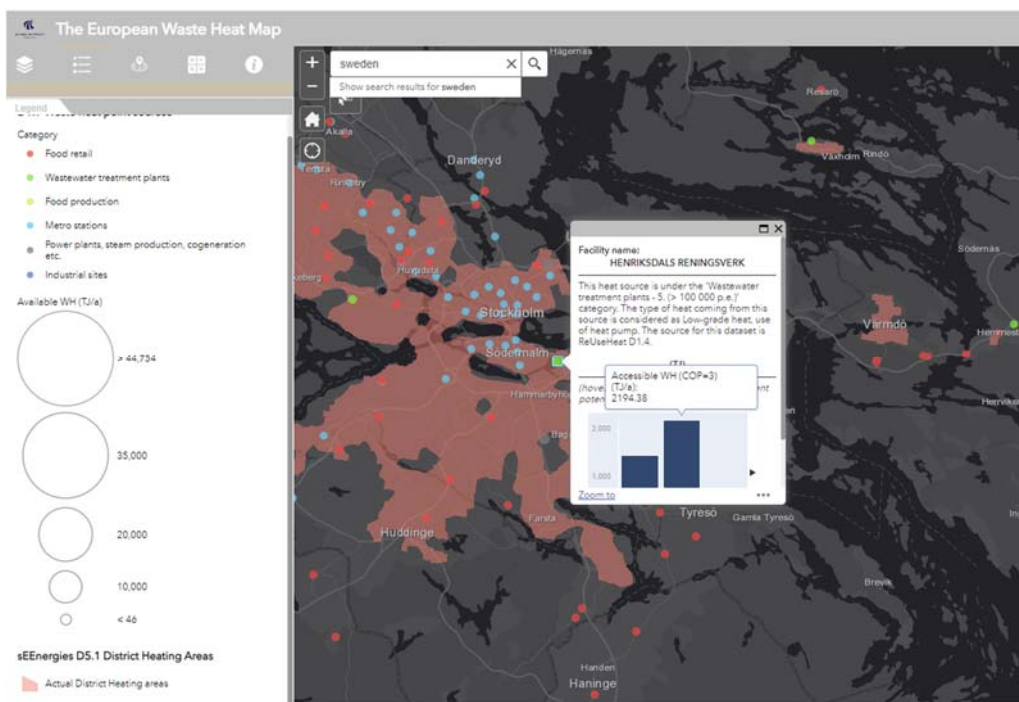


(Energimyndigheten, 2022). Avloppsreningsverk, reningsanläggningar för industriavlopp och deponier facklar störst andel av sin biogas, med 12 %, 25 % respektive 32 %. Detta beror sannolikt på att dessa anläggningar har ett annat fokus än energiproduktion, till skillnad från samrötnings- och gårdsbio gasanläggningar vars huvudsyfte är energiproduktion.

Potentialen för hur mycket biogas som kan produceras från avloppsslam uppskattades 2008 till maximalt cirka 1 TWh per år (Linné et al, 2008). Med tanke på dagens befolkningmängd skulle denna potential kunna öka till cirka 1,2 TWh per år. Jämfört med dagens produktion på 0,7 TWh per år, finns det en maximal potential för en ökning av biogasproduktion från avloppsreningsverk med närmare 65 %.

Avloppsvattnet innehåller också värmeenergi, främst från uppvärmt tappvatten som återfinns i gråvattenfraktionen (bad-, dusch- och tvättvatten). Svenskt Vatten uppskattar att svenska hushåll använder 780–1150 kWh per pe och år för uppvärmning av vatten, vilket i huvudsak återfinns i avloppsvattnet (Arnell et al., 2021). En annan studie av Larsen (2015) uppskattar att cirka 800 kWh per pe och år kan hittas som värmeenergi i avloppsvatten, vilket motsvarar cirka 7 TWh/år för hela Sverige.

Av denna värmepotential uppskattas cirka 1,5 TWh/år kunna utvinnas i Sverige (WasteWaterHeat), medan REUSEHEAT (2022) uppskattar att minst 3,2 TWh/år av värmeenergin från avloppsvatten kan nyttiggöras, då den ligger inom 2 kilometer från urbana fjärrvärmeområden. [The European Waste Heat Map](#), framtagen av REUSEHEAT (2022), visar hur mycket värmeenergi som finns tillgänglig från olika källor, inklusive avloppsreningsverk, och hur mycket som kan utvinnas (Figur 4). I Stockholmsregionen, med 18 avloppsreningsverk, anges totalt 3,5 GWh tillgänglig värmeenergi per år, som med värmepumpar med en COP (Coefficient of Performance) på 3 kan ge en energiproduktion på 5,2 GWh per år.



Figur 4. The European Waste Heat Map med Henriksdal ARV som exempel (The European Waste Heat Map, <https://tinyurl.com/2wvh7ud7>).

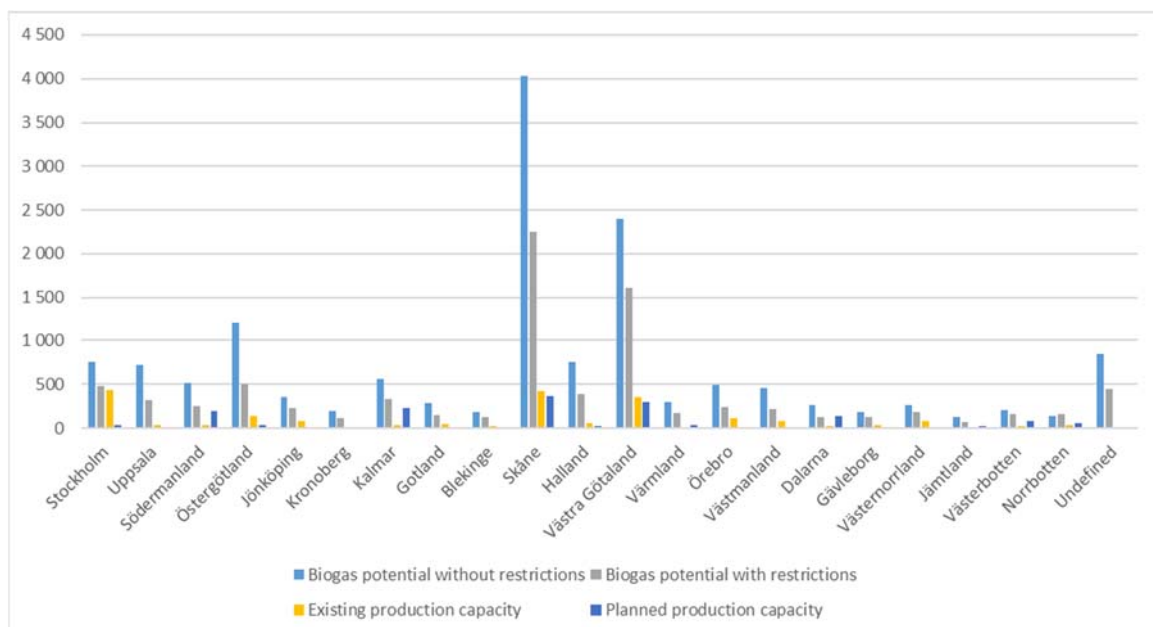




Flera avloppsreningsverk i Sverige använder värmepumpar för att återvinna energi från utgående avloppsvatten. Ett exempel är Alvesta reningsverk, som har använt värmepump för att värma upp byggnader och rötkammare sedan 1981. Örebro reningsverk använder värmepump för fjärrvärme och fjärrkyla sedan 1984. Hammarbyverket i Stockholm rymmer världens största värmepumpsanläggning, som utvinner värme ur renat avloppsvatten från Henriksdals reningsverk. Anläggningen innehåller sju värmepumpar och producerar fjärrkyla genom det kalla vatten som är resultatet av värmeproduktionen. Dessutom har anläggningen två biooljeeldade pannor och två elpannor som används vid sträng kyla på vintern.

Avloppsvatten från olika industrier kan också innehålla värme på grund av processernas uppvärmning. Industriellt avloppsvatten kan ofta ha mycket högre temperaturer än kommunalt avloppsvatten, vilket erbjuder ytterligare möjligheter för värmeåtervinning.

Mängden energi som potentiellt kan utvinnas från kommunalt avloppsvatten vid avloppsreningsverk genom rötning eller värmeåtervinning är bl.a. direkt kopplad till befolkningens mängden eller antalet anslutna personekvivalenter (pe). På grund av variationen i befolkningstäthet över landet finns det stora regionala skillnader i förutsättningarna för biogas- och värmeåtervinning. Figur 5 illustrerar hur existerande och planerad biogasproduktion (idag kända till år 2026), samt beräknad biogaspotential med och utan teknoekonomiska begränsningar, skiljer sig åt på regional nivå i Sverige (hämtad ur Jivén et al, 2022). Teknoekonomiska begränsningar avser här en bedömning av vad som är rimligt att samla in och behandla av de olika substraten med hänsyn till rådande ekonomiska och tekniska förhållanden. (Observera att det i figuren är inkluderat även andra substrat än avloppsslam, exempelvis matavfall och restprodukter från industri och lantbruk.)



Figur 5. Produktionskapacitet för existerande och planerad biogasproduktion samt teoretisk biogaspotential med och utan teknoekonomiska begränsningar (Baserat på Linné et al (2008) med modifieringar. Inga energigrödor eller andra biomassor som ej räknas som avfall är inkluderade.) per län i Sverige i GWh/år. Diagram hämtat ur Jivén et al. 2022.



En LCA-studie (livscykelanalys) som utvärderade olika slamhanteringstekniker, inklusive torkning, förbränning och pyrolys, visade att vissa behandlingstekniker kan producera ett energiöverskott baserat på teknikleverantörernas uppgifter (Grundestam et al., 2020). Dock visar erfarenheter från slamförbränning, som har använts i flera år i Tyskland (till exempel vid Straubings Sludge2Energy), att ingen nettoenergi produceras eftersom den värme och elenergi som kan genereras från producerad biogas via Combined Heat and Power (CHP) oftast behövs för att täcka processens energibehov, inklusive slamtorkning och förbränning.

Liknande utmaningar uppstår vid pyrolys och förgasning av slam, där pyrolysgas respektive syntesgas erhålls från behandlingen. Enligt projektgruppens bedömning är det osannolikt att dessa processer kommer att producera nettoenergi eftersom den energi som genereras oftast används för att möta processens interna energibehov, såsom slamtorkning och uppvärmning. Detta indikerar att även om vissa slamhanteringstekniker visar potential för energiöverskott på pappret, kräver de i praktiken så mycket energi för sina egna processer att nettoenergiproduktion är osannolik.

### 3.3 Behovet

#### 3.3.1 Samhället

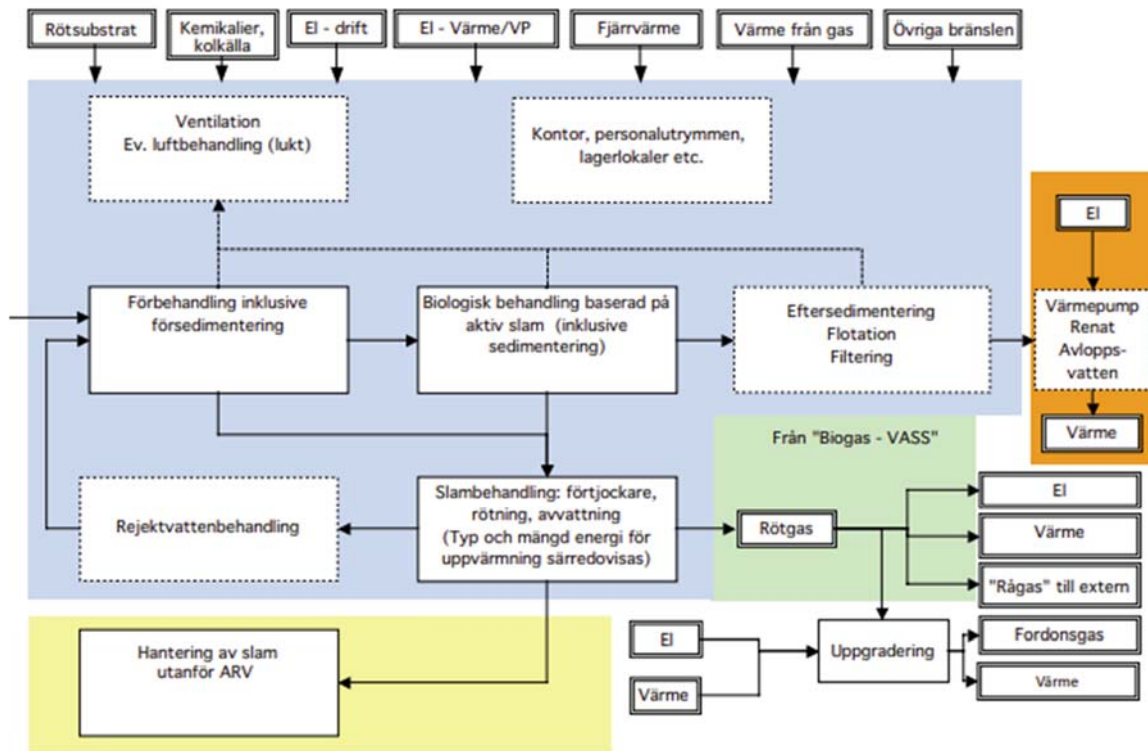
Svenska hushåll i flerbostadshus använder i genomsnitt 7 500 kWh energi per person och år, där 80 % av denna energi går till värme och resterande 20 % används som el. Av den totala energianvändningen i svenska hushåll går mellan 780 och 1 150 kWh per person och år till uppvärmning av varmvatten. Denna energi tillförs genom olika källor, men det mesta återfinns i avloppsvattnet.

Industriernas energianvändning 2020 var 146 TWh, inklusive energi för transporter. Av detta utgjorde bioenergi 58 TWh, vilket representerar en betydande andel av industrins energibehov. Transportsektorn, som inkluderar vägtrafik, bantrafik, sjöfart och luftfart, använde cirka 112 TWh energi 2020. Av denna mängd stod biogas för 1 TWh. Detta visar att både industrin och transportsektorn har en betydande energianvändning, men att andelen förnybar energi fortfarande är relativt låg, särskilt inom transportsektorn.

Enligt Eurostat (2022) importerar Sverige cirka 29 % av sin konsumerade energi. Detta understryker att även om Sverige har en hög andel förnybar energiproduktion och relativt stora naturresurser, finns det fortfarande ett betydande beroende av energiimport. Detta kan vara en utmaning för Sveriges energiberoende och hållbarhetsmål, eftersom import av fossila bränslen och annan energi kan bidra till koldioxidutsläpp och påverka landets klimatmål.

#### 3.3.2 Avloppsreningsverkens energibehov

Avloppsreningsverk kräver elenergi för sin drift, vilket motsvarar cirka 50 kWh per person-ekvivalent (pe) per år (Balmér och Hellström, 2011). Den totala elenergianvändningen vid de 496 verk som rapporterat i VASS uppgår till 396 GWh (Svenskt Vatten, 2021).



Figur 6. Energiflödet vid ARV (Balmér och Hellström, 2011).

Energianvändningen vid de svenska reningsverken uppskattas totalt till 455 GWh per år (VASS 2020, Svenskt Vatten, 2021). Värdet är baserat på data från reningsverken för år 2020 samt antaganden om energiförbrukning för de verk som inte rapporterat, för att kunna uppskatta det totala energibehovet. År 2016 var den totala energianvändningen 575 GWh per år, vilket indikerar en markant minskning. Anledningen till denna minskning på senare år är inte helt utredd, men det skulle vara intressant att utforska vilka åtgärder som ledde till denna betydande minskning.

Den största enskilda energiförbrukaren på reningsverk är generellt luftningen i de biologiska stegen. Dock finns det en stor variation i de data som rapporterats (VASS 2020, Svenskt Vatten, 2021). Förutom luftning kan andra funktioner i de biologiska stegen bidra till hög energiförbrukning, inklusive returslampumpning, recirkulation och omrörning. Inloppspumpar eller behovet av att lyfta vattnet inom reningsverket kan också utgöra en betydande del av det totala energibehovet. Det finns en tydlig skaleffekt för energibehovet på reningsverk där större avloppsreningsverk tenderar att ha lägre energibehov per person-ekvivalent (VASS 2020, Svenskt Vatten, 2021).

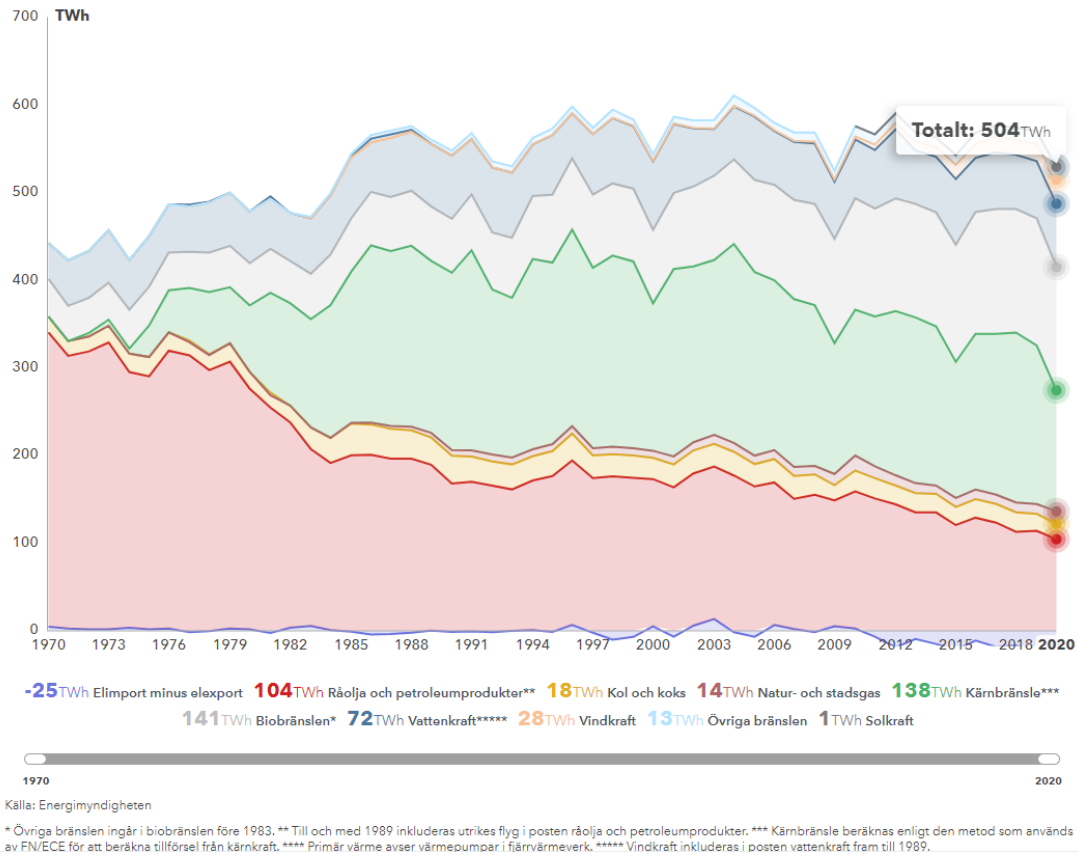
I VASS 2020 anges att 25 reningsverk är nettoenergiproducenter, vilket främst utgörs av stora verk med biogasproduktion. Eftersom flera av dessa verk också rötar matavfall och andra organiska restprodukter, är det svårt att avgöra om dessa verk skulle vara nettoenergiproduktiva utan denna tillförsel. Detta pekar på att även om vissa reningsverk är energipositiva, beror det till stor del på externa organiska material som används i biogasproduktionen, vilket kan ge en missvisande bild av reningsverkens inre energibalans.



## 3.4 Trender

### 3.4.1 Generellt

Sammansättningen av energin som används i Sverige har ändrats mycket över tid (Figur 7).

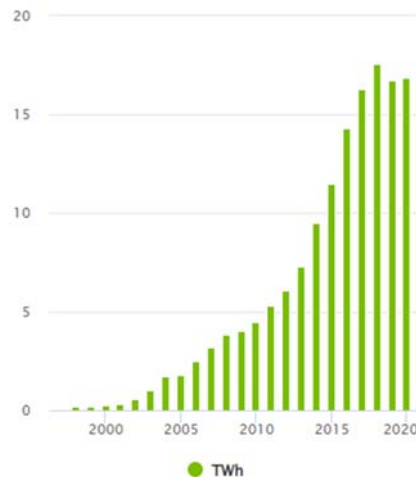


Figur 7. Energitillförselns sammansättning över tid (Ekonomifakta 2022).

Den totala energiproduktionen och -användningen i Sverige förväntas minska i framtiden, men även om minskningen sker i alla scenarier är den betydligt mindre för scenarier med hög elektrifiering och utbyggd kärnkraft. Dessa scenarier motsvarar i princip dagens energisituation (Energimyndigheten 2021).

Elanvändningen förväntas öka inom industrin och transportsektorn på grund av behovet att fasa ut fossila bränslen, ökad digitalisering och omställning av transportsektorn (Energimyndigheten 2021). För att bli fossilfria, implementerar olika sektorer strategier som inkluderar att ersätta fossila drivmedel med biodrivmedel, elektrobränslen/vätgas och förnybar el, samt att fasa ut stöd för fossila bränslen (SOU 2021:67).

Bioenergi är och kommer fortsatt att vara en viktig energikälla i det svenska energisystemet och en betydelsefull del av landets strategi för att uppnå energi- och klimatpolitiska mål. Efterfrågan på biodrivmedel förväntas öka fram till 2030. Inom transportsektorn har mängden biodrivmedel ökat avsevärt i Sverige (Energimyndigheten, 2022). Figur 8 visar att trots den kraftiga ökningen har biodrivmedelsanvändningen stannat av de senaste åren.



Figur 8. Användningen av biodrivmedel i inrikes transporter, TWh/år (Energimyndigheten 2022; <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/transportsektorns-energianvandning/>)

EU-kommissionens plan "RepowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy" syftar till att minska EU:s beroende av rysk naturgas genom ökad biogasproduktion. Planen har som mål att 35 miljarder kubikmeter biogas ska produceras till år 2030, vilket avsevärt skulle kunna ersätta naturgas i EU. Flytande biogas (LBG) kan ersätta naturgas (LNG) som bränsle. Det förväntas att 15 % av bränslet som bunkras i Sverige kan vara LNG i framtiden, vilket skulle kunna ersättas med LBG när produktionskapaciteten ökar, vilket beräknas ske någon gång efter 2030, beroende på policyutveckling och styrmedel (Jivén et al., 2022).

Användningen av biogas har ökat med 145 % från 2015 till 2021 i Sverige, och denna ökning har hittills nästan helt täckts genom import av biogas via det sydvästsvenska gasnätet från Danmark (Energigas Sverige, 2021). Samtidigt finns det ett ökat intresse från industri för att ersätta fossil gas med biogas för att minska klimatpåverkan.

Trots minskad efterfrågan på biogas inom kollektivtrafiken, ses en kraftig ökning i den totala efterfrågan, vilket riskerar att överstiga tillgången på biogas inom de närmaste åren. Denna ökning beror främst på den ökade efterfrågan från industrin. Förvätskning av biogas gör det möjligt att transportera biogas över längre avstånd och ökar därmed marknaden för denna energikälla. Dessutom kräver vissa användare, såsom tung trafik, förvätskad biogas. Under de kommande åren (fram till 2026) beräknas produktionskapaciteten för LBG med nuvarande planering öka från 0,2 till cirka 1,8 TWh per år (Jivén et al., 2022).

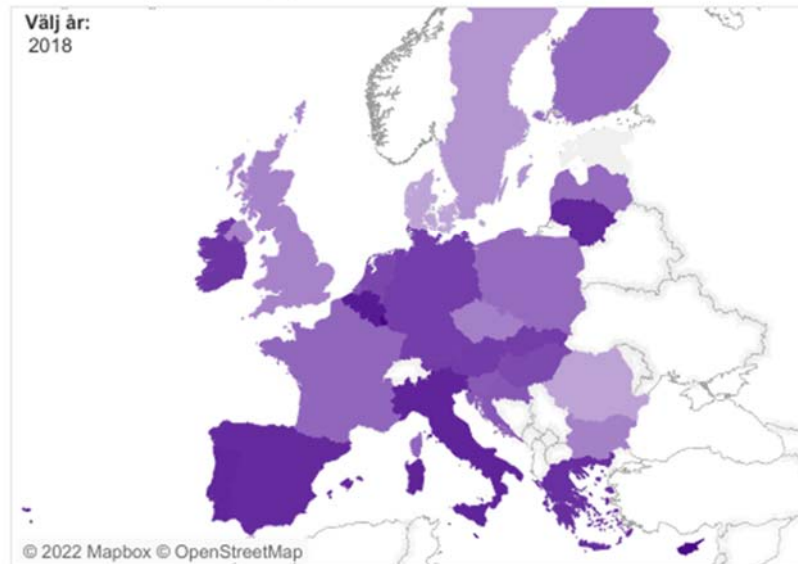
Biogasproduktion förväntas öka om skattebefrielse för biogas kvarstår (Energimyndigheten 2021). Det finns också ett ökande intresse för att använda det producerade metanet i biogasen som byggsten för andra energislag, såsom reformering till vätgas. Samtidigt har andelen av Sveriges konsumerade energi som behöver importeras minskat något över åren (se Figur 9). Detta indikerar att även om Sverige fortfarande importerar energi, är beroendet av importerad energi på väg att minska, delvis tack vare ökad användning och produktion av inhemsk biogas.



### EU-ländernas beroende av importerad energi 1990-2018

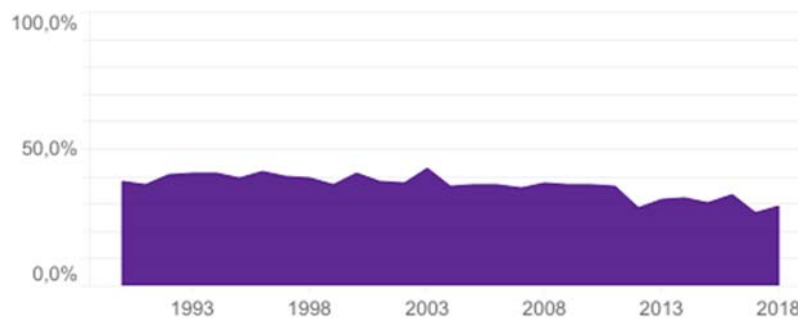
Ju mörkare färg desto större andel av landets konsumerade energi importereras. För musen över länderna för mer information.

Källa: Eurostat | Grafik: Europaportalen



### Utveckling över tid i Sverige

Välj land:  
Sverige



Figur 9. Andel importerad energi till Sveriges konsumerade energi (Eurostat 2022, Grafik: Europaportalen).

Moderna hus är byggda enligt byggnadstekniska krav som innebär att de är välisolerade och ofta utrustade med delvis värmeåtervinning. Detta har lett till att energibehovet för tappvarmvatten i många fall kan vara högre än energibehovet för rumsuppvärmning. Detta beror på att värmeåtervinningen i ventilationssystemet minskar behovet av energi för att värma upp rummen, medan behovet av varmvatten förblir högt på grund av användning i hushållsapplikationer som duschar, tvätt och disk.

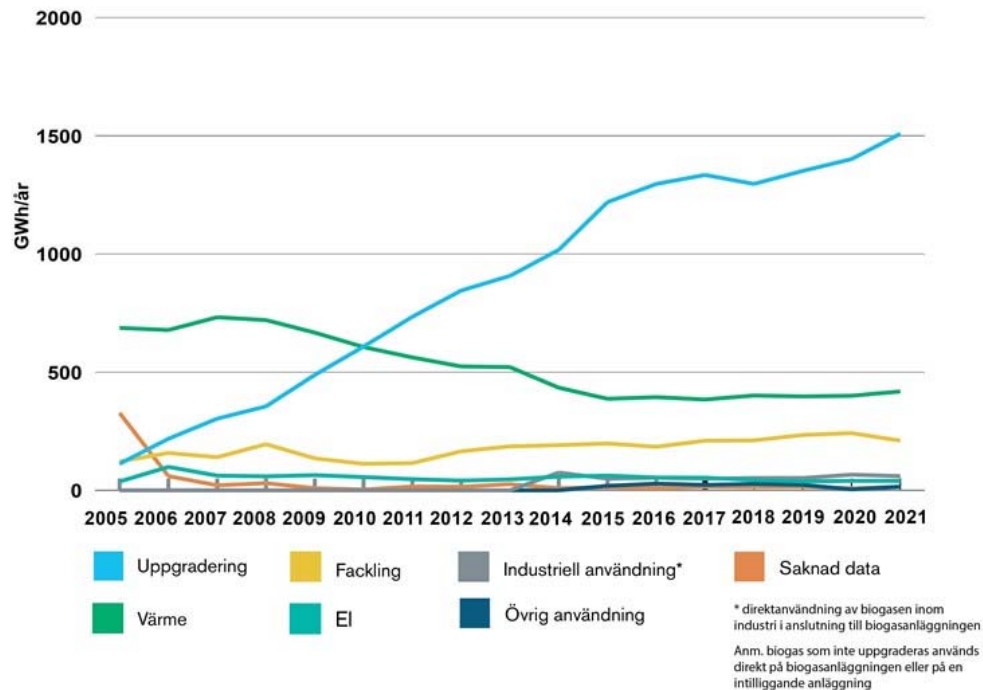
Användningen av värmepumpar har ökat eftersom de kan ge högre energiåtervinning än traditionella värmeväxlare. Värmepumpar används också som ersättning för direktverkande eluppvärmning, vilket är mer energieffektivt och kan bidra till att minska elförbrukningen i byggnader. Det finns också ett växande intresse för att återvinna värme från avloppsvatten, eftersom studier har visat att detta inte påverkar avloppsreningsverk negativt (Arnell et al., 2021). Genom att utnyttja värmen i avloppsvattnet kan energibehovet minskas ytterligare, vilket är särskilt attraktivt i moderna byggnader där energiförbrukningen måste hållas låg. Återvinning av värme från avloppsvatten kan även



integreras med fjärrvärmesystem och andra energieffektiva lösningar, vilket gör det till ett attraktivt alternativ för att öka energieffektiviteten i byggnader och minska den totala energianvändningen.

### 3.4.2 Inom VA-sektor

Under de senaste 15 åren har det funnits en stark trend mot att alltmer biogas uppgraderas till fordonsgaskvalitet och idag uppgraderas 67 % av den producerade svenska biogasen (Figur 10) (Energigas Sverige/Energimyndigheten, 2022).



Figur 10. Utveckling över nationell användning av svenskproducerad biogas år 2005-2021 (Diagram hämtat ur "Produktion av biogas och rötresten och dess användning år 2021", Energigas Sverige (2022)).

Efterfrågan på biogas har ökat, delvis på grund av omvärldssituationen med kriget i Ukraina, vilket har lett till minskad tillgång på rysk naturgas. Det finns också ett ökande intresse för biogasproduktion från avloppsreningsverk, med stöd från biogasstödet som klubbades igenom på våren 2022, vilket också inkluderar rötning av avloppsslam.

El- och energianvändningen vid svenska avloppsreningsverk har minskat markant sedan 2016, enligt Svenskt Vatten (2021). Orsaken till denna minskning är dock inte helt klarlagd. Samtidigt finns det intresse för att öka biogasproduktionen genom biologisk eller kemisk metanisering av den producerade koldioxiden tillsammans med vätgas från förnybar el. Cordova et al. (2022) uppskattar att 35 % mer biogas kan produceras i Sverige på kort sikt genom att nyttiggöra koldioxid i den producerade biogasen.

Vid avloppsreningsverk kan synergieffekter uppstå genom att producera vätgas via elektrolys. Syret som erhålls i processen kan användas för att effektivisera luftningen i de biologiska stegen, medan värmen som genereras kan återvinnas inom reningsverket. Dessutom kan elektrolys av rejektvatten ge vätgas och kvävegödsel som biprodukt.

Med ökat fokus på att minska metanutsläpp, särskilt vid rötningsanläggningar, finns det behov av att förbättra kontrollen för att minimera metanemissioner. Detta förväntas ske



både genom frivillig anslutning till initiativ som *Egenkontroll metanemissioner* (EgMet) och genom framtida kravställningar från EU via EU:s Gröna Giv och EU-kommissionens metanstrategi.

Dessutom finns det ett ökande intresse för att pyrolysera slam för produktion av biokol vid svenska avloppsreningsverk. Även om pyrolysgas produceras i processen, förväntas det att denna gas inte kommer att ge nettoenergiproduktion på grund av de interna energibehoven i processen. I bästa fall kan pyrolysgasen bidra till att göra pyrolysen självförsörjande på energi.

### 3.5 Tillgång vs. behovet av energi

Energi som utvinns från avloppsvatten i olika former, som biogas och värme, kommer bara kunna täcka en mindre del av Sveriges totala energibehov. Trots detta finns det potential för att öka produktionen av högvärdig energi från avloppsvatten, särskilt i form av biogas och biogasbaserade produkter. Denna energi kan ersätta fossila bränslen eller användas för produktion av el och värme, vilket bidrar till att minska beroendet av fossila källor.

Värmeenergin i avloppsvatten har stor potential att användas i större utsträckning för att möta samhällets värmeenergiebehov, inklusive avloppsreningsverkens egna behov. Genom att utnyttja värmeenergin effektivt kan avloppsreningsverk minska sin energikostnad och bli mer hållbara.

Utvinning och återbruk av energin från avloppsvatten kan dessutom göra flera avloppsreningsverk självförsörjande på energi. Detta skulle inte bara minska deras energikostnader utan också göra dem mer motståndskraftiga och oberoende, vilket är särskilt viktigt i ett föränderligt energilandskap. Genom att integrera energiproduktion från avloppsvatten i en bredare energistrategi kan Sverige ta ytterligare steg mot en mer hållbar framtid.

### 3.6 Internationellt perspektiv

Elanvändningen i Sverige är relativt hög, med ett genomsnitt på cirka 12 MWh per capita. Detta kan jämföras med Tyskland, där elanvändningen per capita var 6 MWh år 2020 (IEA, 2022). Den höga elanvändningen i Sverige kan bero på flera faktorer, som kalla vintrar, omfattande industriell verksamhet och stor användning av el för uppvärmning i hushållen.

REUSEHEAT (2022) rapporterar att upp till 5 % av det totala värmebehovet i urbana miljöer, motsvarande cirka 150 TWh per år, skulle kunna täckas enbart genom värmeåtervinning från avloppsvatten. Denna uppskattning visar på den enorma potentialen som finns i att återvinna värme från avloppssystem, vilket kan bidra till att minska samhällets energibehov och göra det mer hållbart. Genom att utnyttja den outnyttjade värmeenergin från avloppsvatten kan städer minska sitt energibehov och öka användningen av förnybara energikällor, vilket i sin tur bidrar till att minska koldioxidutsläppen och främja energieffektivitet.





## 4 Referenser

- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Balmér, P., Hellström, D. 2011. Nyckeltal för reningsverk: Verktyg för effektivare resursanvändning. Svenskt Vatten Utveckling 2011-15. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Boman, B., Frostell, B. 1087. Potential för biogasutvinning ur avloppsvatten i Sverige. IVL Svenska Miljöinstitutet, B852.
- Cordova, S.S., Gustafsson, M., Eklund, M., Svensson, N. 2022. Potential for the valorization of carbon dioxide from biogas production in Sweden. Journal of Cleaner Production 370 (2022) 133498.
- Ekonomifakta 2022. Energitillförsel.  
[https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Energitillforsel/Energigas\\_Sverige/Energimyndigheten](https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Energitillforsel/Energigas_Sverige/Energimyndigheten), 2022. Produktion av biogas och rötrest och dess användning år 2021.
- Energimyndigheten 2022. Energiläget i siffror 2022.  
<http://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/>
- Energimyndigheten 2021. Scenarier över Sveriges energisystem 2020, ER 2021:6.
- Eurostat 2022. [https://public.tableau.com/views/TemaEU-Indernasenergiberoende1990ochfram/Dashboard1?embed=y&:toolbar=n&:embed\\_code\\_version=3&:loadOrderID=0&:display\\_count=y&:publish=yes&:origin=viz\\_share\\_link](https://public.tableau.com/views/TemaEU-Indernasenergiberoende1990ochfram/Dashboard1?embed=y&:toolbar=n&:embed_code_version=3&:loadOrderID=0&:display_count=y&:publish=yes&:origin=viz_share_link)
- Grundestam, C., Johansson, K., Mellin, A., Malmaeus, M., Rahmberg, M. 2020. Konsekvensbeskrivning för framtida slamhantering och fosforåtervinning - Livscykelanalys och ekonomiska beräkningar av två utvalda teknikkedjor för fosforåtervinning. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C541.
- Jivén, K., Hjort, A., Malmgren, E., Persson, E., Brynolf, S., Lönnqvist, T., Särnbratt, M., Mellin, A. 2022. Can LNG be replaced with liquid bio-methane (LBM) in shipping?. F3-rapport Publ No FDOS 28:2022. Available at <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>
- Linné, M., Ekstrandh, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., Lantz, M. 2008. Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. Rapport Avfall Sverige, Svenska Biogasföreningen, Svenska Gasföreningen och Svenskt Vatten.
- IEA 2022. IEA Statistics. Hämtat från [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/)
- Larsen, T.A. 2015. CO2-neutral wastewater treatment plants or robust, climate-friendly wastewater management? A systems perspective. Water Research 49, 513-521.
- REUSEHEAT 2022. D1.9: Report on the amounts of urban waste heat accessible in the EU28. Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 767429.
- SOU 2021:67. Vägen mot fossiloberoende jordbruk. Statens offentliga utredningar. Svenskt Vatten 2021. VASS Reningsverk – Nyckeltal för år 2020. R2021-04.
- WasteWaterHeat 2008. Vägledning för återvinning av värme från avloppsvatten. Energikontor Sydost, Växjö.



# Delsyntes 1d: ANDRA RESURSER

## Tillgång, behov, dagens återbruk och framtidens potential

I denna delsyntes presenterar vi tillgång och behov av andra resurser som kan finnas i avloppsvatten i Sverige och som inte ingår i de andra delsynteserna för vatten, energi och näringsämnen. Trots begränsad tillgång till data har vi försökt beskriva vilka andra resurser som kan finnas, eventuellt återvinnas och nyttjas av samhället. Fokus ligger på kommunalt avloppsvatten. Specifika industriella process- eller avloppsvatten kan innehålla olika resurser som delvis redan återvinns men som ur ett större samhällsperspektiv inte bedöms vara relevant för den här syntesen.

Denna delsyntes består av två delar; projektgruppens samlade bedömning och kunskapsunderlaget för delsyntesen. I projektgruppens samlade bedömning listas huvudpunkter som projektgruppen vill lyfta fram som viktiga aspekter. I kunskapsunderlaget presenteras den litteratur och data som ligger till grund för dessa punkter.

## 1 Sammanfattning

Avloppsvatten innehåller fler resurser än vatten, näringsämnen och energi även om det idag inte finns lika bra kunskap om dessa. Andra resurser inkluderar exempelvis inerta material såsom sand och metaller, men även plaster och organiska komponenter så som cellulosa, koagulanter, biopolymerer och fettsyror som skulle kunna återvinnas från avloppsvattnet. För vissa av dessa finns information om mängder som finns i avloppsvatten, exempelvis metaller, medan det saknas data för andra. En utvinning av dessa resurser från avloppsfraktioner styrs framför allt av ekonomiska och miljörelaterade aspekter snarare än ett direkt behov för återvinning. Det pågår flera aktiviteter i Sverige som fokuserar på utvinning av olika andra resurser och det kan konstateras att det finns en stor potential för en utökad återvinnig av andra resurser i framtiden som även kan kopplas till teknikutvecklingen.

### Innehåll

1	Sammanfattning .....	1
2	Projektgruppens samlade bedömning.....	2
2.1	Tillgång på andra resurser.....	2
2.2	Behov av andra resurser .....	2
2.3	Dagens återbruk av andra resurser .....	2
2.4	Återbrukspotential för andra resurser.....	2
3	Kunskapsunderlag för delsyntesen.....	3
3.1	Andra potentiella resurser i kommunalt avloppsvatten.....	3
3.2	Trender .....	5
3.3	Internationellt perspektiv .....	5
3.4	Rekommendationer relaterade till delsyntesen.....	5
4	Referenser.....	6



## 2 Projektgruppens samlade bedömning

### 2.1 Tillgång på andra resurser

Spillvatten innehåller flera olika ämnen från en mängd uppströms källor, som hushåll, industrier, inläckage och dagvattenavrinning. Dessutom tillkommer ämnen under behandlingen vid avloppsreningsverk, till exempel koagulanter och polymerer. Det finns även sekundära resurser som uppstår vid rening av avloppsvatten, såsom koldioxid vid uppgradering av biogas. Även om det kan finnas underliggande data, som halter av metaller i inkommande avloppsvatten till reningsverk, är tillgången till dessa resurser inte tillräckligt kartlagd. Generellt sett är koncentrationerna låga och resurserna svårtillgängliga på grund av den komplexa matrisen i avloppsvattnet. I industriella process- eller avloppsvatten kan dock resurserna förekomma i högre koncentrationer och vara mer lättillgängliga.

### 2.2 Behov av andra resurser

De resurser som återfinns i avloppsvatten finns där på grund av deras användning i samhället, vilket indikerar ett generellt behov för dessa resurser. Men det framstår inte finnas något direkt incitament eller behov av att återvinna den andelen resurser från avloppsvatten för att täcka samhällets behov. Det betyder att även om återvinning av dessa resurser kan vara möjligt, är det inte nödvändigt för att tillgodose dagens efterfrågan.

### 2.3 Dagens återbruk av andra resurser

I Sverige finns det få exempel på medvetet återbruk av andra resurser från kommunalt avloppsvatten. Däremot finns det inom industrin vissa exempel på intern återvinning och återbruk av olika resurser, som återanvändning av betsyror inom järn- och stålindustrin, eller kemikalier från blekprocessen i pappersindustrin. Dessa exempel visar att det redan pågår viss återvinning av resurser, även om det inte är vanligt i kommunalt avloppsvatten.

### 2.4 Återbrukspotential för andra resurser

Det finns flera outnyttjade resurser i kommunalt avloppsvatten som potentiellt kan ersätta fossila eller ändliga resurser, som kemikalier eller sand. I Sverige finns flera forskningsprojekt som fokuserar på hållbar återvinning av dessa resurser, antingen för direkt användning i avloppsreningsverk, som kolkälla i denitrifikationen, eller som bas för andra produkter, som bioplaster. Dock saknas en riktig kartläggning av dessa resurser i svenskt avloppsvatten, vilket gör det svårt att bedöma den fulla återbrukspotentialen. Trots detta tror projektgruppen att det finns stor outnyttjad potential till återvinning, i alla fall för vissa resurser. Den geopolitiska utvecklingen, krav på ökad cirkularitet och minskad miljöpåverkan kan leda till ökad återvinning av olika resurser från avloppsvatten i framtiden.



## 3 Kunskapsunderlag för delsyntesen

### 3.1 Andra potentiella resurser i kommunalt avloppsvatten

Tillgången till andra resurser som kan finnas i kommunalt avloppsvatten är ofta svår att kvantifiera men i Tabell 1 presenteras några av de tänkbara resurserna baserat på Pikaar et al. (2022).

Tabell 1: Översikt över möjliga resurser som kan återvinnas från kommunalt avloppsvatten och exempel på deras potentiella slutanvändning inom olika sektorer (Pikaar et al., 2022).

Resurskategori	Resurs	Återvinningspotential	Exempel på användning
<b>Inerta material</b>	Sand	0,1-3 kg/person och år	Byggindustrin
<b>Organiskt material</b>	Cellulosa	I storleksordningen flera kg per person och år för respektive resurs	Biokemisk industri, byggmaterial
	Alginatliknande substanser		Läkemedels- och livsmedelsindustri
	Biokol		Jordbruk
	Flyktiga fettsyror (VFA)		Biokemisk industri
	PHA		Bioplast, jordbruk
<b>Metaller</b>	Olika metaller i slam/aska	I storleksordningen flera gram per person och år för summan av alla metaller	Metallurgi
<b>Koagulerter</b>	Främst järn- och aluminiumbaserade	I storleksordningen 1 kg per person och år	Jordförbättring, byggnation, avlägsnande av sulfider och luktkontroll

Metaller kan även inkludera sällsynta jordartsmetaller eller ädelmetaller som guld och silver. Dock återfinns dessa i väldigt låga halter i kommunalt avloppsvatten men kan finnas i högre halter i vissa processvatten exempelvis från malmförädling.

Utöver resurser i avloppsreningsverk kan verksamheten vid avloppsreningsverk resultera i att resurser skapas. Vid uppgraderingen av producerad biogas från slamrötningen tillverkas exempelvis koldioxid som kan utgöra en värdefull resurs t.ex. för att producera olika kemikalier.

#### Sand

Beroende på storleken på avloppsreningsverket finns ett reningssteg som avlägsnar sand för att skydda pumpar och rör från slitage och minska slammänden som produceras. Mellan 0,1 och 3 kg sand per person och år produceras vanligtvis från reningsverk men siffrorna kan vara betydligt högre under perioder med kraftig nederbörd för kombinerade avloppssystem. Sanden separeras och tas om hand redan idag, dock främst som avfall. Beroende på renheten kan sanden komma till användning inom byggindustrin och i och med att sanden ändå behöver avlägsnas från avloppsvattnet för att skydda utrustningen kan återbruk av sand ses som en lågt hängande frukt (Pikaar et al., 2022).



## Organiskt material

Kommunalt avloppsvatten uppskattas innehålla 500-1 200 mg COD/l vilket globalt motsvarar 156-374 Mton COD som skulle kunna återvinnas per år (Pikaar., 2022). I Sverige summerar mängderna BOD i inkommande vatten till tillståndspliktiga reningsverk över 2000 PE varje år upp till cirka 215 000 ton enligt officiell statistik (SCB, 2022).

En betydande del av det organiska materialet utgörs av cellulosa. Cellulosa tillförs reningsverket framförallt genom användandet av toalettpapper. Mängden cellulosa i avloppsvattnet varierar därför stort mellan olika länder, beroende på toapappersanvändning och anslutning. I Västeuropa uppskattas toapappersanvändningen till 10-13 kg/person, år (Pikaar et al., 2022). Med ett antagande om att man i Sverige skulle använda 12 kg/person och år och antalet anslutna personer idag uppgår till ca 9 300 000 personer skulle den totala mängden cellulosa in till de svenska avloppsreningsverken uppgå till ca 110 000 ton. I en studie från Nederländerna uppskattades 8-10 kg cellulosa per person och år kunna återvinnas bara med ett enkelt silningssteg vilket på EU-nivå skulle motsvara 4,1-6,1 Mton cellulosa per år (Ruiken et al., 2013).

Cellulosa bidrar framför allt till COD- och TSS-mängden i avloppsvattnet och kan utgöra en stor andel av dessa. Utan återvinningsprocesser kan cellulosan påverka reningsverken på olika sätt: den kan oxideras till koldioxid i aeroba zoner, bidra som kolkälla till denitrifikationsprocessen, bidra till biomasseproduktionen eller delvis konverteras till biogas under rötningsprocessen.

Förutom cellulosa innehåller avloppsvatten andra organiska material som extracellulära polymera ämnen (EPS), flyktiga fettsyror (VFAs), proteiner, lipider och kolhydrater. Det mesta av dessa ämnen renas via aktiv-slamprocesser och de organiska materialen hamnar i slammet och kan därigenom återbrukas antingen via slamspridning eller förbränningsprocesser. Det görs även försök på att uppgradera återvinningen av organiska material med högre värde så som karboxylater, inklusive kort- och medelkedjiga fettsyror, proteiner, polyhydroxialkanoater (PHA), extracellulära polymera substanser (EPS) och alginatliknande föreningar. Dock är TRL-nivån för dessa tekniker i huvudsak låg i nuläget (Pikaar et al., 2022).

## Metaller

I kommunalt avloppsvatten hamnar metaller från både mänsklig aktivitet och naturliga källor. Många typer av tungmetaller finns i avloppsvatten så som kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink, och dessa hamnar i avloppsslammet där de kan minska potentialen för säker återföring av slammet. Förutom tungmetaller kan slammet innehålla exempelvis sällsynta jordartsmetaller och platina och guld (Westerhoff et al., 2015). Enligt Westerhoff et al. (2015) skulle återvinning av dessa vara en intressant möjlighet i och med det höga värdet av vissa av dessa metaller tillsammans med den stora volymen slam som finns.

”Metallvärdet” uppskattas till \$460 per ton slam. Om slammet förbränns koncentreras metallerna i askan och genom att inkludera askan i råmaterialet till metallindustrin skulle dessa metaller kunna återvinnas via redan använda pyro- och hydrometallurgiska processer. Dock gör den låga koncentrationen och komplexa sammansättningen av metaller att återvinningen är utmanande ur teknisk och ekonomisk synvinkel (Pikaar et al., 2022). För andra avloppsströmmar med högre koncentrationer av metaller som i vissa industriprocesser skulle potentialen för återvinning vara större.



## Koagulerter

Aluminium- och järnbaserade koagulerter används i stor utsträckning för fosfor- och sulfidrening. Typiska koncentrationer för dosering är i storleksordningen 5-50 mg/L järn eller aluminium. Beroende på doseringsgraden och reningsverkets konfiguration ligger järn- och aluminiumkoncentrationen i slam kring 0-50 g/kg torrsvikt.

## 3.2 Trender

Ett ökat intresse för cirkulära system, krav på minskat miljöpåverkan i tillverkningsindustrin eller vid hantering av restströmmar (inkl. vid avloppsreningsverk) medför också ett ökat intresse för resurser som återvinns från avloppsfraktioner.

Nya reningstekniker som implementeras vid svenska avloppsreningsverk för att uppnå striktare reningskrav kan eventuell påverka möjligheten till utvinning av vissa resurser. Exempelvis kunde polymerer (EPS) som inte passerar genom avancerade membran koncentreras upp och avskiljas.

Ökade råvarupriser eller begränsad tillgång till vissa resurser kan möjligtvis öka intresset för att utvinna dessa resurser från avloppsvatten ifall tekniker finns. Här kan till exempel sällsynta jordartsmetaller men även koagulerter nämnas som möjliga resurser. Vissa metoder för annan återvinning, till exempel fosfor från slamaska, förenklar samtidigt en återvinning av exempelvis koagulerter. Detta kan innebära att återvinning av olika biprodukter ökar i takt med återvinning av exempelvis näringsämnen eller vatten från avlopp.

## 3.3 Internationellt perspektiv

Innehållet och tillgången av olika resurser i avloppsvatten påverkas av emissioner av dessa från samhället till avloppsvatten vilket således varierar mellan olika länder.

Ingen specifik resurs som är unik för svenska avloppsvatten kunde identifieras av projektgruppen.

## 3.4 Rekommendationer relaterade till delsyntesen

En övergripande kartläggning och kvantifiering av olika resurser och potentialen för utvinning från kommunalt avloppsvatten i Sverige skulle kunna ge ett värdefullt underlag för eventuella framtida forskningsanslag och utvecklingsområden.



## 4 Referenser

- Pikaar, I., Guest, J., Ganigué, R., Jensen, P., Rabaey, K., Seviour, T., Trimmer, J., van der Kolk, O., Vaneckhaute, C., Verstraete, W. (Red.). 2022. Resource Recovery from Water: Principles and Application. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409566>
- Ruiken, C.J., Breuer, G., Klaversma, E., Santiago, T., van Loosdrecht, M.C.M. 2013. Sieving wastewater – Cellulose recovery, economic and energy evaluation. Water Res. 47, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.023>
- SCB 2022. In- och utsläpp från kommunala avloppsreningsverk efter recipient/reningsmetod/storleksklass, substans, tabellinnehåll och vartannat år. [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T07/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T07/) (accessed 4.26.24).
- Westerhoff, P., Lee, S., Yang, Y., Gordon, G.W., Hristovski, K., Halden, R.U., Herckes, P. 2015. Characterization, Recovery Opportunities, and Valuation of Metals in Municipal Sludges from U.S. Wastewater Treatment Plants Nationwide. Environ. Sci. Technol. 49, 9479–9488. <https://doi.org/10.1021/es505329q>



## Delsyntes 2a: VATTEN

### Tekniker och system samt referensprojekt

I denna delsyntes presenteras tillgängliga tekniker och system som kan nyttjas för återvinning och användning av vatten från avlopp. Innehållet är en fortsättning och vidareutveckling av en tidigare syntes, delsyntes 1 (Delsyntes 1a: Vatten). Med återvinning och användning menas att vattnet återanvänds för ett nytt syfte, till exempel när behandlat avloppsvatten ingår som tekniskt vatten för en annan process. Vi har därför genomgående valt att använda termen återanvändning när olika typer av vatten såsom avloppsvatten och gråvatten behandlas och används till nya syften. Den primära målgruppen för den sammanfattade informationen om vatten är svenska myndigheter och kommuner. Föreliggande delsyntes är projektgruppens reviderade slutversion och är baserad på granskning och inspel från både experter inom området, berörda myndigheter och den breda referensgruppen.

Inledningsvis presenteras tillgängliga reningstekniker, följt av befintliga system för återbruk av vatten. Avsnitten är kortfattat presenterade och beskrivs avseende för- och nackdelar. Tillskillnad från delsyntes 1, som beskrev tillgång och behov av vatten, handlar denna syntes om att bedöma mognadsgrad. Den senare är bedömd enligt teknisk mognadsgrad, även förkortat TRL (technology readiness level) och visas översiktligt i figuren nedan. Där visas att TRL kan anges efter en skala från 1 till 9, där 1 till 4 på skalan i grova drag motsvarar forskning och utveckling av tekniken, medan siffran 4 till 6 innebär att tekniken är mogen för att demonstreras. De högre siffrorna från 7 till 8, kan betraktas som en mognadsgrad nära fullskalig implementering och vid 9 finns applikationer där tekniken är i fullskalig drift. När en teknik bedöms med TRL-nivå 9 betyder inte detta att tekniken är fulländad. Denna nivå innebär att tekniken är testad för drift och att den har utvärderats och använts i större skala. Det kan däremot fortfarande finnas behov för utveckling och optimering. Det senare blir särskilt aktuellt eftersom många av de presenterade teknikerna kan vara väl beprövade för dricksvatten, medan de inte alls är använda för avloppsvatten. I dessa fall kommenteras detta tydligt för respektive teknik i avsnitten nedan. I respektive avsnitt här nedan presenterade tekniker representera olika teknikmognad, vilket beror på att flera olika tekniker eller processer befinner sig i olika utvecklingsstatus. I dessa fall anges flera TRL-nivåer.

TRL

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Forskning	Tillämpad forskning		Teknikdemonstration			Tekniskt system, kvalificering och drift		
		Teknikutveckling						
					Tekniskt system, utveckling			

Utöver att ange teknikernas TRL, har projektgruppen också gjort en bedömning av teknikernas/systemens potential att ingå i Sveriges framtida hantering av avloppsströmmar med återanvändning och regenerering av vatten i fokus. Slutligen anges också tillgängliga referensprojekt. Det är framför allt erfarenheter från Sverige som anges för respektive teknik/system. I länder med historiskt stor vattenbrist har arbetet med att effektivisera vattenanvändning och öka recirkulation av vatten kommit längre än i Sverige. I dessa länder används flera tekniker i TRL 9. Inverkan från yttre faktorer som bland annat





årstidsvariationer, tjäle eller luftfuktighet kan inverka på om en teknik som används utomlands enkelt kan införas även i Sverige.

Tekniker eller system som syftar till effektivisering eller minskning av vattenanvändning har inte inkluderats, eftersom fokus för syntesprojektet ligger på tekniker för att utvinna rent vatten från avloppsvatten för återanvändning.

## Innehåll

1	Befintliga tekniker .....	2
1.1	Konventionell aktivslamprocess (CAS) .....	3
1.2	Konventionell aktivslamprocess (CAS) eller membranbioreaktor (MBR) med utökat poleringssteg genom mikrosil/sandfilter .....	4
1.3	Adsorption och oxidativa processer för mikroföroreningar .....	6
1.4	Avancerad membranseparation .....	9
1.5	Desinfektionsprocesser genom UV-desinfektion (och klorering) .....	10
2	Befintliga system för återbruk av vatten .....	12
2.1	Återanvändning av gråvatten .....	12
2.2	Återanvändning som tekniskt vatten .....	13
2.3	Bevattning med renat avloppsvatten .....	14
2.4	Indirekt återanvändning till dricksvatten .....	16
2.5	Direkt återanvändning till dricksvatten .....	18
3	Relevanta innovativa tekniker/system .....	21
4	Referenser .....	22

# 1 Befintliga tekniker

I detta avsnitt presenteras tekniker för avloppsvattenrening som delvis redan används i svenska avloppsreningsverk (ARV). Därefter beskrivs tekniker för avancerad rening, där svårnedbrytbara substanser avskiljs. Slutligen presenteras avancerade membranseparationer, som framför allt används i dricksvattenproduktion eller för rening av industrivatten. Vatten som produceras beskrivs som olika former av tekniskt vatten<sup>1</sup> eller vatten av dricksvattenkvalitet. Även om det inte finns någon definition av tekniskt vatten i svensk lagstiftning, eller i litteraturen (Frihammar och Barup, 2021), så avses tekniskt vatten i denna text vara återvunnet renat avloppsvatten, men även spillvatten, älv- och sjövattnet eller dagvatten, som inte har dricksvattenkvalitet enligt Livsmedelsverkets föreskrifter. Det saknas svenska riktlinjer eller myndighetskrav på kvalitet för återvunnet vatten.

Målet med en återanvändning av renat avloppsvatten är, i de flesta fall, inte att ersätta dricksvatten med samma kvalitet, utan att ersätta dricksvatten i de användningsområden där dricksvattenkvalitet inte behövs. Med detta kan både behovet av dricksvatten och därmed resursförbrukning och miljöpåverkan från dricksvattenproduktion minskas. Det bör i detta sammanhang nämnas att en stor andel av Sveriges befolkning dricker dricksvatten där en andel, om än liten, utgörs av renat avloppsvatten. Detta gäller exempelvis för Storstockholm och Göteborg.

<sup>1</sup> Återvunnet renat avloppsvatten som inte har dricksvattenkvalitet



## 1.1 Konventionell aktivslamprocess (CAS)

### Beskrivning

Den mest förekommande tekniken på ARV i stort är den aktiva slamprocessen, även kallad konventionell aktivslamprocess (CAS). Processen dominerar också på svenska ARV. CAS är en biologisk process där näringsämnen i avloppsvatten, såsom kväveföreningar och lättillgängligt organiskt kol, utgör näring till bakterier. Näringsämnen bryts därför ned, tas upp eller omvandlas av bakterier, vilket leder till en stark bakteriell tillväxt. Det är detta som utgör slammet (primärslam) som uppstår vid ARV och som avskiljs vid fällning och försedimentering. Förutom en biologisk rening ingår vanligtvis även en mekanisk och kemisk rening i form av galler, sand- och partikelavskiljning respektive fällning. Dessa reningsprocesser är lämpade för att avlägsna lättnedbrytbara och lättillgängligt organiskt kol samt kväve och processerna en viss mängd fosfor som finns i vattnet. Det senare avskiljs genom fällning även om det också finns exempel på biologisk fosforreduktion.

Andra icke önskvärda ämnen, såsom läkemedelsrester, eller hushållskemikalier avlägsnas i mindre grad. Dessa ämnen kontrolleras heller inte avseende halter eller förekomst i konventionella aktivslamprocesser. Utöver CAS finns andra tekniker som också omhändertar näringsämnen och lättillgängligt kol och dessa tekniker återfinns i mindre omfattning på svenska reningsverk. Exempel som kan nämnas är biobäddar, rörliga biofilmsreaktorer med bärare (MBBR), och Aerobt granulärt slam (AGS).

Det producerade vattnet från reningsprocesser såsom CAS utan kväverening ger ett "biostabilt" vatten som kan vara utmärkt för bevattningsändamål, då det förutom vatten även innehåller kväve, fosfor och andra näringsämnen. Biologisk behandling kombinerat med bevattning är under rätt förutsättningar en process som genererar ett stort resursöverskott. Användning sker vanligtvis efter en lagring i dammar, men även andra polerande reningstekniker såsom sandfilter eller mikrosilning kan förekomma.

### Produkt

Delvis renat avloppsvatten för bevattning.

### Fördelar

- Den mest vanligt förekommande formen för återanvändning av renat avloppsvatten för bevattningsändamål. De enklaste formerna utgörs möjligen av fällningsdammar eller markbäddar som kan generera bevattningsvatten med liten smittorisk.

### Nackdelar

- Det renade avloppsvatten innehåller fortfarande en del föroreningar vilket begränsar möjliga användningsområden.
- Utan extra desinfektion finns det en risk att vattnet innehåller smittspridande ämnen.

### Teknikmognad (TRL)

									↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

### Referensprojekt

Enligt Hoyer (2019) finns tekniken på flera platser enligt listan nedan:

- på Gotland, sedan 1980-talet, för att bevattna jordbruksmark med renat avloppsvatten som lagras i bevattningsdammar.



- Under 1990-talet började bland annat Svalövs och Enköpings kommun att bevattna energiskog med Salix med biologiskt behandlat avloppsvatten.
- Vid Böda ARV på norra Öland används återvunnet avloppsvatten efter lagring på minst 14 dagar för bevattning av jordbruksmark. P.g.a. sommarturism är tillgången på renat avloppsvatten större på sommaren.
- Setra Heby sågverk i Heby kommun använder sedan sommaren 2018 det utgående kommunala avloppsvattnet för att bevattna timret från sågen.

#### Projektgruppens bedömning

Det finns en risk för spridning av smittoämnen vid bevattning av jordbruksmark med avloppsvatten. Detta är sannolikt den största utmaningen som också verkar begränsande. Även andra föroreningar som inte renas bort av den enkla reningsprocessen kan verka begränsande såsom vissa metaller eller höga halter av suspenderade ämnen. I slutändan behöver vattnet uppfylla kraven i EU:s nya förordning om bevattning på jordbruksmark. Det är dock Projektgruppens samlade bedömning att denna typ av avloppsvatten kan utnyttjas förutsatt att de föroreningshalter som fortfarande finns i vatten inte utgör någon betydande ökad risk för människors hälsa och för miljön. Exempel: bevattning av timmer, bevattning av energiskog. Ett förtydligande från myndigheter på vilka krav som måste ställas på vattenkvalitet från renat avloppsvatten behöver tas fram för att öka beredvilligheten av återanvändning.

## 1.2 Konventionell aktivslamprocess (CAS) eller membranbioreaktor (MBR) med utökat poleringssteg genom mikrosil/sandfilter

#### Beskrivning

Den konventionella aktivslamprocessen (CAS) kan kombineras med ett mycket effektivt separationssteg som avskiljer partiklar och även de flesta bakterier. Detta kan antingen ske genom ett efterföljande reningssteg (poleringssteg) eller genom membranbioreaktortekniken (MBR). Kombinationerna CAS+MBR eller CAS+mikrosil/sandfilter resulterar dock i olika reningsgrad och representerar olika mognadsgrad, där CAS+MBR är en teknikkombination som inte använts fullt lika länge. Membranseparationen för båda fallen av teknikkombinationer använder membranseparation med hjälp av mikro- eller ultrafiltrering (MF respektive UF).

Även andra polerande reningstekniker som t.ex. sandfilter eller mikrosilning (MS) kan förekomma, däremot uppnås inte samma grad av partikelavskiljning med dessa tekniker vid jämförelse med membranteknik såsom mikro- eller ultrafiltrering.

#### Produkt

Mycket rent, partikelfritt och bakterie-reducerat tekniskt vatten för industriell användning och bevattning. Eventuella vattenlösliga och svårnedbrytbara kemiska föroreningar avskiljs inte.

#### Fördelar

- På grund av kontinuerligt ökande reningskrav på avloppsvatten kommer flera av dessa tekniker behöva implementeras även om inte återanvändning av vatten är målet.
- Effektiv rening av avloppsvatten till en god kvalitet som tillåter viss direkt återanvändning av vattnet såsom tekniskt vatten.



- Den effektiva reningen underlättar när avancerad rening för avskiljning av organiska mikroföroreningar ska efterfölja eller kombineras med denna reningsprocess.
- Pågående teknikutveckling, och en växande marknad p.g.a. ökande reningskrav, ger kontinuerligt minskande kostnader och sänkt resursförbrukning för denna teknik. En etablerad teknik i en global kontext.

#### Nackdelar

- Kräver mer resurser i form av energi och kemikalier jämfört med CAS.
- Högre investerings- och driftskostnader än för CAS.
- Vissa föroreningar kan avskiljas i något högre grad och överförs till slammet än vid traditionell rening, vilket kan behöva beaktas vid efterföljande slam användning. Även om mikroplaster avskiljs i hög grad (>99 %) vid konventionell rening, kan en membranfiltrering möjliggöra ytterligare avskiljning.
- Mer avancerade processer kräver hög kunskap hos process- och driftpersonal.

#### Teknikmognad (TRL)



1

2

3

4

5

6

7

8

9

#### Referensprojekt

Konventionell aktivslamprocess har använts i Sverige i flera decennier. Det finns därmed mycket samlade kunskaper och erfarenheter tillgängliga för dessa processer. I takt med ökade reningskrav från myndigheternas sida, har reningsprocessen utökats med att även omfatta en effektiv efterpolering. I andra fall har processen uppgraderats till en MBR-process. I Sverige finns MBR-anläggningar i fullskala till exempel vid Henriksdals ARV i Stockholm<sup>2</sup>, vid Kiviks ARV på Österlen (Takman et al., 2022) och vid Håckla ARV i Åtvidaberg<sup>3</sup>. Dessutom är ytterligare anläggningar under uppförande, eller under planering. Det senare är fallet för Himmerfjärdsverket i Grödinge, Centrala reningsverket i Kristianstad, Margretelund i Åkersberga och Sjölunda i Malmö. MBR-tekniken har studerats i flera år med hjälp av pilottester både vid Hammarby Sjöstadverk (Andersson et al., 2023) och vid Himmerfjärdsverket (Baresel et al., 2022). Vid Kalmar ARV har en utvärdering genom pilottester gjorts på befintliga aktivslamprocesser som kompletterats med en effektiv membranseparation i form av UF (Edefell et al., 2019).

Hur och om det renade vattnet vid nämnda anläggningar ovan används vidare har Projektgruppen ingen kännedom om. Däremot känner Projektgruppen till att flera verksamheter planerar för en direkt användning för internt bruk som t.ex. spolvatten. Under avsnitt 2, som beskriver olika system, framgår det att tekniker för en utökad rening av avloppsvatten är en viktig del i arbetet för att återanvända renat avloppsvatten.

#### Projektgruppens bedömning

Aktivslamprocessen av kommunalt avloppsvatten som utökas genom avskiljning med hjälp av MBR-tekniken, eller CAS efterföljt av poleringssteg i form av sandfilter eller UF, kommer sannolikt att implementeras i allt större omfattning vid svenska ARV. En orsak till detta är framför allt ökade reningskrav. I tillägg kommer det i framtiden även att införas krav på avancerad rening av mikroföroreningar, vilket förutsätter att det vatten

<sup>2</sup> [Stockholms framtida avloppsrening](#)

<sup>3</sup> <https://www.mynewsdesk.com/se/malmberg/pressreleases/malmberg-bygger-om-haackla-avloppsreningsverk-i-aatvidaberg-med-unik-reningsmetod-2106564>, besökt i oktober 2023



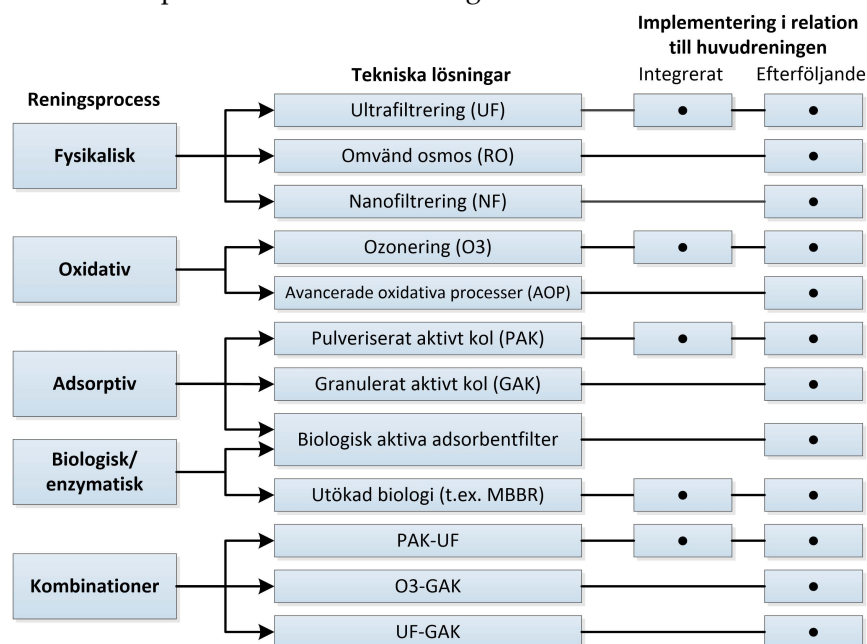
som ska renas har genomgått en utvidgad grundläggande rening. Även ett ökat behov av återbruk av avloppsvatten av olika kvalitet kommer att leda till en ökad implementering av tekniken. Teknikutvecklingen för MBR-processen och CAS kombinerat med ett poleringssteg kommer leda till ökade kunskaper om dessa tekniker. Detta leder i sin tur till en större acceptans för en framtida implementering av de mer avancerade reningsprocesserna.

Projektgruppens samlade bedömning är att konventionell aktivslam med utökat poleringssteg såsom sandfilter, skivfilter eller MBR-tekniken, kommer att bli de nya "vanliga" teknikerna vid svenska ARV.

### 1.3 Adsorption och oxidativa processer för mikroföroreningar

#### Beskrivning

Rening av organiska mikroföroreningar och avancerad rening är ett område som blivit allt viktigare de senaste tjugo åren. Arbetet inom detta område pågår i stora delar av Sverige och i övriga Europa. Med avancerad rening avses reningstekniker som kan avlägsna svårnedbrytbara substanser såsom organiska mikroföroreningar, som inte avskiljs vid konventionella ARV. Teknikerna är ofta baserade på fysikaliska, adsorptiva eller oxidativa metoder. Det finns flera olika tekniska lösningar för att åstadkomma en avancerad rening vid ARV och flera av dessa visas i Figur 1. Även om alla presenterade exempel inte utgör teknikalternativ beprövade i fullskala, kan de åstadkomma från viss till stor avskilningsgrad för mikroföroreningar. De flesta teknikerna placeras främst som en efterföljande rening, medan några även kan integreras i processen. I alla fall där avancerad rening ska nyttjas är det viktigt att påpeka att teknikerna kräver att inkommande vatten till reningsstegen är biologiskt behandlat så att löst organiskt material, nitrit och suspenderade ämnen har låga halter.



Figur 1. Schematisk karakterisering av olika kompletterande reningstekniker.  
(modifierad från Baresel et al., 2017).



Teknikerna ozonering och aktivt kol är idag de två huvudtekniker som av många anses som mest relevanta att införa vid svenska ARV på grund av anläggnings- och driftskostnaderna. För att beskriva dessa två tekniker närmare kan det nämnas att aktivt kol kan användas i form av filter, såsom granulärt aktivt kol (GAK) eller i pulverform, så kallad pulveriserat aktivt kol (PAK). Både GAK och PAK avlägsnar organiska substanser från vattnet genom adsorption och över tid kan även ämnen brytas ned biologiskt av den biofilm som skapas på det aktiva kolets yta. Det senare är aktuellt för GAK-filter som är i kontakt med vattnet över en längre tid. Eftersom PAK tillsätts vattenfasen i form av en slurry, behöver den separeras från vattenfasen i ett senare skede och innan vattnet är slutbehandlat. Den andra huvudtekniken är ozon, vilken behandlar vattnet genom att oxidera organiska ämnen som finns i vattnet. Ozon bryter därmed ned organiska substanser till mindre enheter och skapar därmed biprodukter, både från andra ämnen i vattnet och från mikroföroreningarna. Av denna anledning, och vid tillämpning i avloppsvattenrening, bör ozonering kombineras med ett biologiskt efterpoleringssteg som kan bryta ned de nybildade biprodukterna ytterligare (von Sonntag och von Gunten, 2012). Efterpoleringssteget kan utgöras av sandfilter, aktivt kol eller bioreaktorer med fasta eller rörliga bärare (MBBR). Det bör tilläggas att hur de olika behandlingsstegen skiljer sig åt avseende reduktion av toxicitet eller vilka biprodukter som bäst avlägsnas av respektive teknik, är ännu inte kartlagt i litteraturen. Slutlig reningseffekt är delvis anläggningsberoende. Reningen beror dels på vilka slags mikroföroreningar det specifika avloppsvattnet innehåller, dels hur vattnet i övrigt ser ut avseende organiskt material och förekommande joner med mera.

Motivet för att införa avancerad rening på reningsverk är framför allt för att minska risken för miljöpåverkan i dricksvattenkällor och känsliga recipienter med låg utspädning. I Sverige startade arbetet med avancerad rening för drygt tio år sedan och Linköping blev det första svenska reningsverket med att införa ett avancerat reningssteg. Den permanenta anläggningen invigdes 2017. Sedan dess har en handfull mindre reningsverk kompletterats med avancerade reningssteg och ett stort antal förstudier och pilottester har genomförts på svenska reningsverk med finansiering av Naturvårdsverket.

Det finns flera andra tekniker som kan åstadkomma en avancerad rening. Avancerade oxidationsprocesser (AOP) är ett sådant exempel. AOP är oxidationsprocesser som genererar hydroxylradikaler (OH-radikaler). Dessa är kraftiga oxidanter som reagerar icke-selektivt i vattnet. Utöver att bryta ned organiska substanser kan AOP även åstadkomma oxidation av oorganiska ämnen. Exempel på AOP-processer kan vara kombinationer av ozon och väteperoxid, så kallad peroxon ( $O_3/H_2O_2$ ) eller kombinationen UV/ $H_2O_2$ , som är en fotokemisk process där UV-ljus involveras.

#### Produkt

Renat avloppsvatten som är desinficerat och fritt från en stor mängd olika organiska mikroföroreningar.

#### Fördelar

- Kan åstadkomma en mycket bra vattenkvalitet på utgående avloppsvatten.
- Kan åstadkomma en effektiv avskiljning och separation av skadliga mikroföroreningar från kretsloppet.
- Kan åstadkomma en desinfektion av avloppsvatten, gäller dock främst oxidativa processer.



- De olika teknikerna kan kombineras för en kompletterande reningseffekt.
- Pågående teknikutveckling och en växande marknad ger generellt kontinuerligt minskande kostnader och en minskad förbrukning av resurser

#### Nackdelar

- Teknikerna kräver att de föregås av en fungerande biologisk förbehandling där låga halter av löst organiskt kol (DOC) och suspenderade ämnen är att föredra.
- Kräver energi och andra resurser.
- Osäkerhet kring framtida lagstiftning
- Relativ höga investerings- och/eller driftkostnader.
- Kan skapa nedbrytnings- eller biprodukter som behöver hanteras. Gäller främst oxidativa processer.
- Reningseffektivitet för olika mikroföroreningar varierar för olika tekniker.
- Kostnaderna för GAK har varit starkt påverkade av världsmarknadens instabilitet.
- Det saknas en infrastruktur för regenerering av det aktiva kolet i Sverige och i våra grannländer.

#### Teknikmognad (TRL)

							↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

#### Referensprojekt

Tekniska verken i Linköping blev det första reningsverket i Sverige som införde ett avancerat reningssteg och den permanenta anläggningen invigdes under 2017 efter utförliga pilottester (Sehlén et al., 2015). Sedan dess har även reningsverket i Simrishamn (Ekengren et al., 2020), Kivik (Takman et al., 2022), St Olof och Degeberga infört ett avancerat reningssteg som GAK (Kivik, St Olof och Degeberga) och ozon efterföljt av GAK (Simrishamn). Implementering av avancerad rening med ozonering eller aktivt kol utreds för närvarande vid många svenska reningsverk. Ett flertal pilotprojekt har genomförts, eller är under genomförande, för att öka kunskapen kring drift och för att optimera resursförbrukningen vid rening av mikroföroreningar vid specifika ARV. Ett urval av dessa listas nedan medan referenser för när teknikerna används i system återfinns under avsnitt 2.

- Getteröverket, Varberg, ozonering-GAK, UF-GAK (Baresel et al., 2021a, 2024)
- Kungsängsverket, Uppsala, GAK efterföljt av anjonbytare (AIX) (Baresel et al., 2023a)
- Himmerfjärdsverket, MBR-GAK (Baresel et al., 2022a; 2023), PAK-MBR (Baresel et al., 2022b)
- Sundets reningsverk, Växjö, ozonering, GAK och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Lindberg 2020, 2022)

#### Projektgruppens bedömning

Avancerade reningstekniker är kraftfulla och kan åstadkomma avskiljning och separation av ämnen som konventionella reningsprocesser inte klarar av. De avancerade reningsteknikerna har olika krav på energibehov och alstrar olika mycket restprodukter. De kräver också att de noga undersöks relativt det specifika ARV och det specifika avloppsvattnet, eftersom det ofta finns risk för att effektiviteten av det avancerade reningstekniker påverkas av andra ämnen i vattnet. Med tanke på förslaget i nya avloppsdirektivet och utvecklingen i samhället mot målet av en giftfri miljö kommer avancerade reningstekniker implementeras vid flera svenska ARV framöver. Det är projektgruppens bedömning att införandet av avancerad rening på svenska ARV kommer att leda till flera nya återanvändningsområden för behandlat avloppsvatten. Det



senare är starkt kopplat till att det behandlade avloppsvattnet har en mycket hög vattenkvalitet efter ett avancerat reningssteg såsom ozon kombinerat med GAK.

## 1.4 Avancerad membranseparation

### Beskrivning

Nanofilter (NF) och omvänd osmosfilter (RO) representerar avancerade membran-tekniker med mycket täta membran som avskiljer joner och är goda mikrobiologiska barriärer. Separationen sker både utifrån molekylens storlek och dess laddning. Vatten transporteras genom membranerna genom att applicera ett hydrauliskt tryck som övervinner det osmotiska trycket i vattnet appliceras i membranläggningen. Det osmotiska trycket är en funktion av salthalt och påverkas även av föroreningsgraden, såsom lösta ämnen som separeras av membranet. Ett vatten med lägre föroreningsgrad innebär därmed ett lägre osmotiskt tryck och ett lägre resursbehov vid RO- eller NF-filtrering. De nämnda membran-teknikerna används vid dricksvattenproduktion i avsaltningsanläggningar eller ytvattenverk för att avlägsna färg. NF och RO kan även användas för att uppkoncentrera substanser t.ex. vid återvinning av närsalter eller resurser i industrin, för mer detaljer hänvisas läsaren till de andra delsynteserna.

### Produkt

Mycket rent, delvis avjoniserat vatten (avskiljningsgraden av olika joner och organiska mikro-föroreningar kan variera, speciellt för NF).

### Fördelar

- Känd och beprövad teknik bl.a. från avsaltningsanläggningar och dricksvattenberedning.
- Effektiv separation av i princip alla föroreningar från avloppsvatten.
- Kompakt och platseffektiv.
- Mindre resursbehov än vid avsaltning av havsvatten.
- Pågående teknikutveckling och en växande marknad ger kontinuerligt minskande kostnader och resursförbrukning.
- Det reade vattnet har låg mineralhalt och kan till exempel passa väl vid vätgaselektrolysning.

### Nackdelar

- Känslig för beläggningar såsom påväxt (fouling) och utfällning (scaling).
- Genererar ett koncentrat som innehåller alla föroreningar och som kräver vidare hantering.
- Beroende på användningsområde kan det behövas en återmineralisering av vattnet.
- Hög energiförbrukning

### Teknikmognad (TRL)



1

2

3

4

5

6

7

8

9

### Referensprojekt

I Sverige används teknikerna med membran mest i dricksvattenproduktion där råvattnet som behandlas utgörs av yt- och grundvatten. Utanför Sverige, däremot, i exempelvis Australien, USA och Singapore, finns det flera fullskalanläggningar för återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten med hjälp av dessa tekniker. Några referensprojekt som kan nämnas är:





- Visby ARV (pilottester med RO för recirkulation av avloppsvatten) (Sydvatten och VA SYD, 2021)
- RecoLab Helsingborg (NF för gråvattenrening)<sup>4</sup>
- Mörbylångas nya vattenverk (delvis återbruk av industriavlopp)
- Wulpen, Belgien (återanvändning av avloppsvatten)<sup>5</sup>
- Orange County, Kalifornien, USA (återanvändning av avloppsvatten)<sup>6</sup>
- Texas, USA, flera anläggningar (återanvändning av avloppsvatten)<sup>7</sup>
- Perth, Australien (återanvändning av avloppsvatten)<sup>8</sup>
- Singapore (återanvändning av avloppsvatten)<sup>9</sup>
- ISS (international space station; fullständig återanvändning av rymdstationens vatten)<sup>10</sup>

### Projektgruppens bedömning

Avancerad membranseparation (RO och NF) är en teknik som leder till att ett högkvalitativt vatten kan produceras och utnyttjas exempelvis i dricksvattenproduktion. Tekniken används också i allt större omfattning i avsaltningsanläggningar. Teknikens energi- och kemikaliebehov innebär att den endast bör användas när det finns höga krav avseende vattenkvalitet. Exempel är vid en direkt återanvändning av vatten till dricksvatten. Projektgruppens bedömning är därför att tekniken troligen kommer att implementeras i en begränsad omfattning vid svenska ARV och en utbredd implementering är därmed inte att förvänta. Däremot kan membrantechniken bli mer relevant i urbana miljöer, där den kan utgöra ett stöd i att säkerställa en robust vattenförsörjning i framtiden. Koncentratet som bildas kan i dessa fall hanteras genom återföring till huvudreningssystemet till skillnad från när avsaltning sker i närheten av en recipient varvid rejektvattnet kan ledas dit.

## 1.5 Desinfektionsprocesser genom UV-desinfektion (och klorering)

### Beskrivning

Rening med ultraviolett ljus (UV) är en metod för desinficering och tekniken är effektiv mot bakterier, parasiter och för en stor grupp virus. Tekniken används redan idag i dricksvattenrening, för att skadliga bakterier ska inaktiveras innan dricksvattnet leds vidare ut i ledningarna. Effektiviteten av UV-desinfektion påverkas negativt av flera faktorer och mängden partiklar i vattnet är en av de viktigaste. Vid användning av UV-desinfektion på avloppsvatten är det därför bra om den föregås av en god rening av avloppsvatten. UV-behandling är på samma gång det avslutande reningssteget.

Vid dricksvattenproduktion används dessutom klor (ofta som hypoklorit eller kloramin) för att desinficera vattnet eller hämma bakterietillväxt i ledningsnätet. Även om det vid klorering finns risk för att hälsofarliga och cancerogena biprodukter bildas så används

<sup>4</sup> <https://www.recolab.se/utvecklingsanlaggning/> besökt oktober 2023

<sup>5</sup> <https://water360.com.au/resource/potable-reuse-at-wulpen-belgium-equilibrium/> besökt oktober 2023

<sup>6</sup> <https://www.governing.com/now/california-county-recycles-all-its-wastewater-a-world-first> besökt oktober 2023

<sup>7</sup> <https://www.epa.gov/waterreuse/texas-treated-municipal-wastewater-potable-water-reuse> besökt oktober 2023

<sup>8</sup> <https://www.watercorporation.com.au/Our-water/Wastewater> besökt oktober 2023

<sup>9</sup> <https://www.voanews.com/a/east-asia-pacific-singapore-turns-sewage-clean-drinkable-water-meeting-40-demand/> besökt oktober 2023

<sup>10</sup> <https://www.freethink.com/space/water-recycling-iss> besökt oktober 2023



tekniken då en UV-desinfektion inte ger en långtidsverkande desinfektion och förhindrar alltså inte återväxt i ledningarna.

Även om alla ovan nämnda tekniker används på dricksvatten är detta inte att likställa med applikationer på avloppsvatten.

#### Produkt

Desinficerat vatten.

#### Fördelar

- UV-desinfektion genererar inga biprodukter till skillnad från klorering.
- Kräver endast en kort exponeringstid (upp till 100 kubikmeter vatten på mindre än en timme) för att uppnå en effektiv desinficering.
- Klorering ger en långtidsverkande desinfektion.
- UV-behandling kan kombineras med andra avancerade tekniker för att en rening av andra organiska mikroföroreningar ska åstadkommas (se 1.3).

#### Nackdelar

- Kräver relativt rent vatten fritt från partiklar och löst organiskt kol.
- Klorering kan ge biprodukter.
- Produktionen av klor har stort klimatavtryck
- UV-desinfektion ger ingen långtidsverkande desinfektion vilket innebär att vattnets (bio)stabilitet minskar.
- UV-desinfektion kräver mycket elenergi.

#### Teknikmognad (TRL)



1

2

3

4

5

6

7

8

9

#### Referensprojekt

- Flera vattenverk (VV) som producerar dricksvatten har behandling med UV-desinfektion. Exempel är Alelyckans VV i Göteborg, Vombs VV i Vomb, Ringsjöverket i Stehag, Bulltofta VV i Malmö och Norsborg VV i Norsborg.<sup>11,12</sup>
- På Ryaverket behandlas utgående avloppsvatten med UV, för att sedan återanvändas som spolvatten<sup>13</sup>.

#### Projektgruppens bedömning

Behandling med UV-desinfektion är en enkel och skonsam reningsteknik som inte skapar avfall. UV-desinfektion är effektivt mot en bred kategori av mikroorganismer och för virus. Det finns dock vissa virus som inte inaktiveras vid de doser av UV-desinfektion som används på vattenverk. UV-desinfektion är en intressant desinfektionsmetod och klarar till exempel att inaktivera *cryptosporidium*, vilket andra desinfektionsmetoder såsom klorering inte klarar. Även klorering kan behövas för en långtidsverkande desinfektion vid lagring och distribution av vatten.

Det bör dock understrykas att både UV-desinfektion och klorering inte är metoder som appliceras på avloppsvatten i nuläget eftersom detta vatten ofta innehåller både partiklar och en hög koncentration av löst organiskt kol (DOC) som kan interagera och påverka desinfektionsprocessen negativt. Metoderna kan dock bli aktuella när dricksvatten ska produceras från avloppsvatten.

<sup>11</sup> <https://www.bjorkrostfria.se/referenser/dricksvattenproduktion/ytvatten-sjo/norsborgs-vattenverk/> besökt den 4 april 2023

<sup>12</sup> <https://www.vasyd.se/Artiklar/Dricksvatten/Bulltofta-vattenverk> besökt den 4 april 2023.

<sup>13</sup> Personlig kommunikation Dag Lorick, Gryaab, okt 2023



## 2 Befintliga system för återbruk av vatten

### 2.1 Återanvändning av grävatten

<b>Beskrivning</b>
<p>Grävatten är ett avloppsvatten med mindre föroreningar jämfört med ett blandat avloppsvatten där även toalettavlopp ingår. Grävatten kallas BDT-vatten (bad-, disk-, och tvättvatten) och utgör ca 60 - 70 % av hushållsavloppet. Rening av grävatten som endast innehåller bad- och tvättvatten, till en kvalitet lämplig för spolvatten till toaletter är enkelt.</p> <p>Eftersom det vanligtvis inte finns en separat infrastruktur för grävattenhantering är en återanvändning av grävatten mest relevant nära källan och i fastigheter som har en separerad grävattenhantering.</p>
<b>Produkt</b>
<p>Ett desinficerat tekniskt vatten som delvis är renat och som inte uppnår dricksvattenkvalitet.</p>
<b>Fördelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Relativ enkel rening eller ingen krävs för återanvändning.</li><li>▪ Minskat behov av tappvatten i hushållet.</li><li>▪ Mindre mängd avloppsvatten som behöver renas vid ett kommunalt ARV.</li><li>▪ När grävatten inte leds vidare till avloppsreningsverket resulterar det i att ett vatten med en högre grad koncentrerade föroreningshalter såsom kväve, fosfor eller organisk kol kommer in till verket. Detta ger en mer resurseffektiv rening och möjlighet till näringsåtervinning.</li><li>▪ Kan kombineras med värmeåtervinning från grävatten (se Delsyntes 2c: Energi).</li></ul>
<b>Nackdelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kräver separat grävatteninfrastruktur.</li><li>▪ Eftersom produktion av grävatten vid en fastighet är mycket större än behovet av tekniskt vatten, t.ex. i form av vatten för spolning av toaletterna, kan endast en mindre del av grävattnet återanvändas. Andra användningsområden såsom bevattning kan skapa möjligheter för ökad återvinningsgrad.</li></ul>
<b>Referensprojekt</b>
<p>Eftersom en separat rening och återanvändning av grävatten förutsätter en separat grävatteninfrastruktur, finns endast få referensprojekt tillgängliga. Globalt finns många exempel, särskilt på hushållsnivå. I Australien, i Victoria återanvänds vatten i hushållen<sup>14</sup>. I Helsingborg har man dock sedan flera år satsat på källsorterande system i Oceanhamnen, vilket även inkluderar en infrastruktur för grävatten och en testbädd för teknikutveckling i RECO-labanläggningen. I HSB Living Lab i Göteborg renas duschvatten och återanvänds till spolvatten i toaletterna. Detta minskar dricksvattenförbrukningen och energiförbrukningen med 10 respektive 20 %<sup>15</sup>. Reningen består av en mekanisk grovfiltrering, UF och GAK-filter samt elektrodjonisering och AOP där de två senare åstadkommer en god jonbalans i vattnet respektive desinfektion</p>

<sup>14</sup> <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/greywater-recycling-water-at-home> besökt i oktober 2023

<sup>15</sup> <https://www.hsb.se/hsblivinglab/projekt-i-huset1/ateranvandning-av-gravatten-for-toalettspolning/> besökt i oktober 2023



kombinerat med avskiljning av föroreningar. En första ekonomisk bedömning av systemet identifierade att den kostnadsdrivande faktorn var energi, utifrån en bedömning av systemet i Göteborg, Sverige. Vid en liknande bedömning för systemet i Seattle, USA, fann man att det var kostnaden för vatten och avloppsvatten som var drivande. En tidsperiod på 3,7 respektive 2,4 år behövs i Sverige respektive USA för att få en avbetalning av (Wallin *et al.*, 2021).

### Projektgruppens bedömning

I takt med att förståelsen för behovet av att minska vattenanvändningen ökar och intresset för återanvändningen av vatten växer, kan återanvändning av gråvatten bli ett vanligt system i nya fastigheter. Den extra kostnaden för en separat infrastruktur för gråvatten kan då hållas minimal och motiveras med en minskad dricksvattenförbrukning och därmed en minskad belastning på det kommunala VA-systemet. Projektgruppens bedömning är att en gråvattenåteranvändning bör vara en självklar del av framtidens vattenhantering, speciellt om den kan kombineras med en energiåtervinning från gråvatten. Återanvändningen behöver vidare möjliggöras genom en självklar installering av separata ledningar, samtidigt som säkerheten mot kontaminering, exempelvis genom felanslutningar, behöver säkerställas.

## 2.2 Återanvändning som tekniskt vatten

### Beskrivning

Som påpekats tidigare, finns det inte någon tydlig definition av tekniskt vatten i svensk lagstiftning eller i litteraturen. Projektgruppen har i detta fall avsett återvunnet renat avloppsvatten som saknar dricksvattenkvalitet. Detta innebär att reningen av avloppsvatten kan vara väldigt enkel med befintliga reningsprocesser vid ARV (se 1.1), förutsatt att den framtagna vattenkvaliteten är tillräcklig för ändamålet. Här utgör en direkt användning för bevattning i jordbruket ett användningsområde som diskuterats de senaste åren och som därför beskrivs mer utförligt i avsnitt 2.3.

Även vatten som produceras med hjälp av utökade reningstekniker med avancerad rening i avsnitt 1.3, eller om det är producerat med avancerade separationstekniker som beskrevs i 1.4, kan utgöra tekniskt vatten. Beroende på vilka kvalitetskrav som gäller för den tilltänkta användningen för det tekniska vattnet, kan det alltså behövas olika reningstekniker. Bristen på myndighetsvägledning om krav på vattenkvalitet är stor i Sverige vilket ökar risken för att projekt inte genomförs. Vidare begränsar avloppsreningsverkens miljö tillstånd möjligheten att erbjuda tekniskt vatten till användare, eftersom en annan användare än den fastställda involveras i vattenhanteringen.

### Produkt

Tekniskt vatten av olika kvalitet, dock inte dricksvatten.

### Fördelar

- Det finns ett stort behov för tekniskt vatten i olika samhällssektorer, t.ex. i kommunal sektor för bevattning och rengöring av gator.
- Många ARV ligger i industriområden med potentiella avnämare för tekniskt vatten.
- Tekniskt vatten kan ersätta användningen av dricksvatten i användningsområden som inte behöver vatten av så hög kvalitet, vilket minskar den totala resursförbrukningen.
- Potentiellt färre problem med utmaningar avseende acceptans

**Nackdelar**

- Det krävs vanligtvis ett separat distributionssystem för tekniskt vatten.
- Det saknas ett tydligt regelverk, lagar och krav för hur återanvänt vatten ska implementeras och vad som gäller i varje enskilt fall. Befintliga miljötillstånd tillåter inte distribution av tekniskt vatten utan särskild myndighetsprövning.

**Referensprojekt**

Att använda renat avloppsvatten som produceras vid ARV har blivit en aktuell fråga i många svenska kommuner och det finns redan flera referensprojekt.

Utgående renat avloppsvatten från Ryaverket i Göteborg planeras att användas som kylvatten till Novo Energys framtida batterifabrik<sup>16</sup>. Förutom att användning av tekniskt vatten betyder att ca 100 000 m<sup>3</sup> vatten dagligen inte behöver tas från andra vattenresurser till kylningen, så behöver batterifabriken inte söka tillstånd för en vattenverksamhet eftersom utsläppspunkten är densamma. För Gryaab öppnas nya intäktsmöjligheter som bygger på återanvändning av renat avloppsvatten i form av tekniskt vatten och industrin kan genom detta exempel förstå hur användandet av tekniskt vatten kan se ut.

Även Luleå kommuns VA-bolag (Lumire) utreder tillhandahållande av renat spillvatten till industri<sup>17</sup>.

Det finns flera exempel på en återanvändning av renat utgående avloppsvatten från ARV (Johansson et al., 2022). I Landskrona används till exempel tekniskt vatten som bevattningsvatten av parkförvaltningen, och i Simrishamns kommun sker all bevattning i staden numera med behandlat avloppsvatten. Även flera golfklubbar bevattnar golfbanor med kommunalt renat avloppsvatten där Loftahammar, Emmaboda och Norrtälje golfklubb kan nämnas som exempel.

**Projektgruppens bedömning**

Som Delsyntes 1a: Vatten visade använder många industrier och offentliga aktörer delvis dricksvatten för applikationer som kylvatten, processvatten, spolvatten etc., där dricksvattenkvalitet inte behövs. Det är framför allt i dessa områden som tekniskt vatten bedöms kunna ersätta användning av högkvalitativt dricksvatten och därmed åstadkomma en mer hållbar vattenresurshantering. Ett tekniskt vatten som produceras vid ARV och som uppfyller krav för flera olika användningsområden kan framöver utgöra en viktig del i samhällets anpassning till en cirkulär vattenhantering och en minskad resursförbrukning. Under torra perioder kan det exempelvis ske bevattning och detta utgör då en del av användningsområdena för tekniskt vatten.

## 2.3 Bevattning med renat avloppsvatten

**Beskrivning**

Utgående vatten från reningsverk kan lagras i dammar för att sedan användas för bevattning av jordbruksmark. Lagrat vatten innebär en möjlighet för att återvinna både vatten och kvarvarande näringsämnen i avloppsvatten. Dammar för lagring av renat avloppsvatten för bevattning av åkermark finns på Gotland där vissa anläggningar har

<sup>16</sup> <https://www.goteborgenergi.se/i-var-stad/artikelbank/framtidens-batterifabrik-kyls-med-avloppsvatten>

<sup>17</sup> <https://www.lumire.se/hertsofaltet-industripark/>



drivits ända sedan 1980-talet. Vattenkvaliteten är avgörande för hur återvinningen ser ut och utnyttjas.

Under 2020 utkom *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/741 om minimikrav för återanvändning av vatten*. Kvalitetskraven på det reade avloppsvattnet klassas beroende på typ av gröda som ska bevattas i klass A, B, C & D. Klass A avser livsmedelsgrödor som odlas med ätliga delar ovan jord som inte kommer i direktkontakt med vattnet. Klass B & C avser bearbetade livsmedelsgrödor samt grödor som ej är livsmedel, exempelvis fodergrödor för mjölk- och köttproducerande djur. Klass D avser grödor för industri, energi samt sådda grödor. Klass C bevattas endast med droppbevattning, medan övriga klasser kan bevattas med alla typer av bevattning. Avloppsreningsverk som levererar vatten för återanvändning ska ha minst sekundär avloppsrening samt desinfektion (reduktion av bakterieinnehåll), där krav finns på kvalitet men inte på teknik. Exempelvis finns olika krav gällande halter av *E.coli* för de olika klasserna. Förordningen togs framför allt fram med anledning av den vattenbrist som råder i Södra Europa, och kommer att gälla som minimikrav från juni 2023.

Under 2021 fick Naturvårdsverket i uppdrag att analysera och utreda hur förordningen avseende minimikrav för återanvändning av vatten kunde implementeras i Sverige. Naturvårdsverket konkluderade att förordningen främst kommer att tillämpas i områden där vattenbrist råder och att varje verksamhet som vill nyttja återvunnet avloppsvatten för jordbruksändamål också behöver söka tillstånd för det. De krav som finns och som ska eftersträvas ser annorlunda ut beroende på vilken klassning som vattnet ska ha. Detta är direkt kopplat till vilken produktion som ska bedrivas; produktion av grönsaker som ska konsumeras råa innebär exempelvis en hög klassning och god vattenkvalitet på avloppsvattnet. Detta kan jämföras med produktion av fodergrödor (icke matgrödor) som innebär en lägre klassning och inte fullt lika god vattenkvalitet (Lövdahl, 2019). I vissa fall, och för att nå den högre kvaliteten på vattnet, kan det ibland vara nödvändigt att det lagrade vattnet behöver kompletteras med en behandling så att bland annat bakterieinnehåll och halten av suspenderade ämnen minskar.

#### Produkt

Renat avloppsvatten till bevattning.

#### Fördelar

- Kan vara en enkel återanvändningsteknik om inte extra reningssteg behövs.
- Återvinner både vatten och kvarvarande näringsämnen.

#### Nackdelar

- Ytkrävande om lagring i dammar behövs.
- Kräver relativt god ingående kvalitet på avloppsvattnet och att metallhalter är låga.
- Utbyggnad av ledningsinfrastruktur krävs för längre transport av vattnet, annars är återvinningen begränsad till lokal användning.
- Begränsad mängd kväve och fosfor kan återföras då dessa näringsämnen till stor del avskiljs vid föregående reningssteg.
- De oönskade ämnen som inte avskiljs på reningsverket riskerar att spridas.
- Näringsrikt vatten i öppna dammar kan under sommarhalvåret ge upphov till kraftig alg tillväxt som skapar tekniska problem vid pumpning och spridning av vattnet.



- Då användarna av vattnet blir en del av reningsprocessen krävs avtal som säkerställer att vattnet tas om hand på ett sätt som säkerställer det behandlade vattnets kvalitet.

#### Teknikmognad (TRL)



1

2

3

4

5

6

7

8

9

#### Referensprojekt

- I Sverige har renat avloppsvatten använts för att bevattna jordbruksmark på Gotland sedan 1980-talet. Biodammar används i vissa fall som reningsprocess före användning av vatten till bevattning, benämnt Gotlandsmodellen.
- På Öland bevattnas jordbruksmark med renat avloppsvatten, vilket gett goda resultat (Hoyer 2019). Även i Enköping används renat avloppsvatten för bevattning (Naturvårdsverket, 2022).
- På flera håll i världen har renat avloppsvatten under lång tid och i stor skala använts för bevattning av jordbruksmark, exempelvis i Frankrike, Israel, Belgien och Tyskland (Hoyer 2019).

#### Projektgruppens bedömning

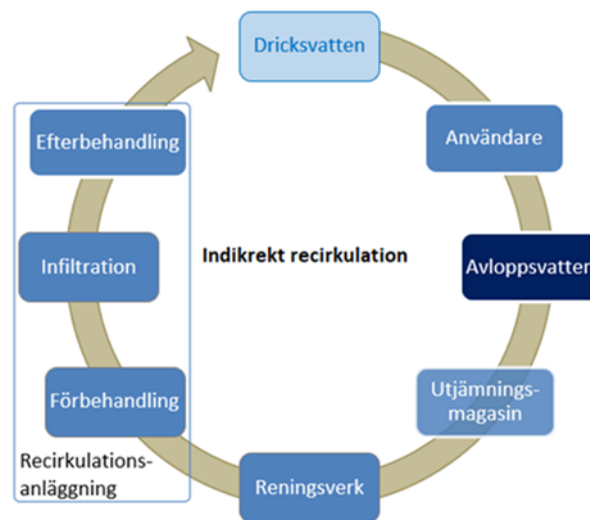
Bevattning av åkermark med behandlat avloppsvatten har potential, särskilt i områden där återkommande vattenbrist råder under odlingssäsongen. Till följd av klimatförändringar, ett ökat fokus på cirkularitet och implementering av avancerad rening på fler reningsverk finns anledning att tro att intresset för återanvändning kommer öka något, även i Sverige. Det är dock osannolikt att återanvändning av vatten för bevattning kommer bli ett system som implementeras på nationell nivå i Sverige. På lokal skala under sommarhalvåret bedöms bevattning med renat avloppsvatten framgent vara en pusselbit i områden med svår vattenbrist.

## 2.4 Indirekt återanvändning till dricksvatten

### Beskrivning

System för indirekt återanvändning av renat avloppsvatten till dricksvatten (på engelska indirect potable reuse -IPR) kombinerar rent tekniska reningssteg med naturliga reningssystem som t.ex. konstgjord infiltration eller dammar och där utjämningsmagasin kan utgöras av naturliga vattendrag och sjöar (Figur 2). Processlösningar inkluderar utökade aktivslamprocesser, vilka beskrevs under avsnitt 1.2, avancerade reningstekniker beskrivna under 1.3, och en desinfektion beskrivet i avsnitt 1.5. IPR behöver dock inte nödvändigtvis inkludera avancerad membranseparation beskrivet i avsnitt 1.4. Naturliga reningsprocesser som infiltrering genom marken används som extra reningssteg och som en del i multibarriärfunktionen. Utnyttjande av dammar eller grundvattenförekomster tillför dessutom en buffertvolym och en "tydlig" skiljelinje mellan avloppsvatten och dricksvatten, vilket generellt skulle kunna öka acceptansen för en återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten.

Det kan nämnas att det i Sverige finns naturliga exempel på indirekt återanvändning till dricksvatten i form av de vattendrag som utgör både recipient för avloppsvatten och råvattenkälla för dricksvattenproduktion. Exempel här är Mälaren och Göta Älv.



Figur 2. Schematisk tänkbar systemutformning vid en indirekt recirkulation av avloppsvatten till dricksvatten (Sydvatten AB och VA SYD 2021).

### Produkt

Dricksvattenkvalitet.

### Fördelar

- Kräver lägre energi- och kemikalieförbrukning jämfört med system för direkt återanvändning även om vattnet ofta renas intensivt i alla fall (Olivieri et al., 2016).
- Billigare och mindre resurskrävande än system för direkt återanvändning.
- Buffertvolym för att möta ett varierande dricksvattenbehov ingår, vilket även tillåter varierande produktionsmål.
- Inga utmaningar med acceptans vid en indirekt återanvändning.

### Nackdelar

- Kräver stor yta för konstgjord infiltration eller dammar, alternativt geologiska förutsättningar.
- Kan innebära stora pumpkostnader vid vattentransport mellan olika delar av systemet, t.ex. från ARV till infiltrationsanläggning och till dricksvattenverk.
- Förluster av renat avloppsvatten i den naturliga reningsdelen, som dock delvis kan kompenseras med naturliga vatten och när samma avrinningsområde avses.
- Det saknas, liksom för avsnitt 2.2., ett tydligt regelverk, lagar eller krav på hur indirekt återanvändning av vatten ska implementeras.

### Referensprojekt

I princip alla stora ytvattenverk i Sverige använder råvatten från vattentäkter som påverkas av avloppsvatten. Mälaren tar emot avlopp från de flesta inlandskommuner i Mälarens avrinningsområde och är huvudvattentäkt för Stockholm. Göta älv är vattentäkt för Göteborg med flera kommuner och tar emot renat avloppsvatten från alla kommuner i avrinningsområdet uppströms Göteborgsregionen, och så vidare. Denna hantering är dock omedveten. Inga referensprojekt finns i Sverige för en medveten indirekt återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten. En förstudie för både direkt och indirekt återanvändning av avloppsvatten vid Sjölunda ARV i Malmö har dock genomförts av Sydvatten och VA-Syd i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet och Sweco (Sydvatten och VA-Syd 2021).





Vid Stengårdens reningsverk har ett fullskaligt system för produktion av återanvänt vatten för indirekt återvinning uppförts och utvärderats (Ekengren et al., 2020). Det tertiära systemet består av ett diskfilter (10 µm) följt av ozonering och Dynsandfilter fyllt med sand respektive aktivt kol. Avskiljningen/nedbrytningen av mikroförreningar och mikrober var god och resultatet är ett vatten som om gällande regelverk möjliggjorde detta, med största sannolikhet skulle kunna användas för indirekt återvinning via infiltration men ett komplement för ytterligare en barriär via ett UV-filter rekommenderas.

Region Gotland har i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet undersökt en återanvändning av avloppsvatten vid Visby ARV (Baresel et al., 2021b)

I utlandet, såsom Australien, USA och Singapore finns där flera fullskaleanläggningar för en indirekt återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten (se sammanställning av dessa referenser i Sydvatten och VA-Syd 2021).

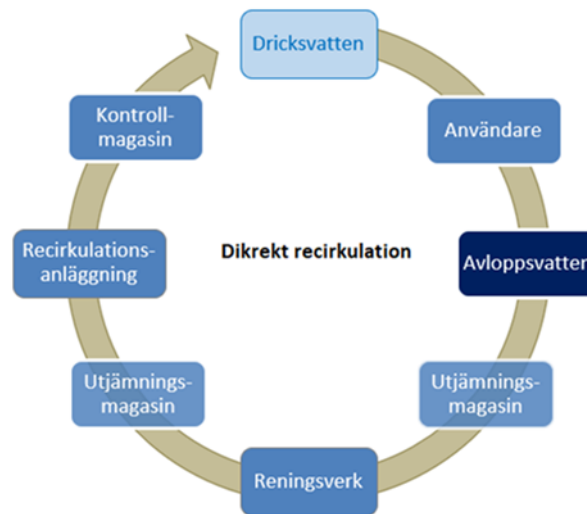
#### Projektgruppens bedömning

Infiltrering av renat avloppsvatten till grundvatten för uttag och produktion av dricksvatten, som en del av en återanvändningsstrategi, anses ofta som den mest grundläggande och robusta behandlingen för recirkulation av vatten. Att det krävs tillgång till lämpliga geologiska system (t.ex. rullstensås) för exempelvis infiltrationsdammar och grundvatten reservoarer, begränsar dock en potentiell implementering. Projektgruppen ser potential för en indirekt återanvändning av renat avloppsvatten till dricksvatten, särskilt om systemet kan komplettera eller ersätta befintliga infiltrationsanläggningar för dricksvattenproduktion.

## 2.5 Direkt återanvändning till dricksvatten

#### Beskrivning

En direkt recirkulation av vatten för att producera dricksvatten visas översiktligt i Figur 3 och innebär att inga naturliga vattensystem såsom grund- eller ytvatten inkluderas i processlösningen. En direkt återanvändning av renat avloppsvatten till dricksvatten (på engelska Direct Potable Reuse -DPR) kan karakteriseras som ett rent tekniskt system. Processlösningar inkluderar avancerade reningstekniker såsom utökade aktivslamprocesser beskrivna under avsnitt 1.2, avancerade reningstekniker som presenterades i avsnitt 1.3, och avancerade membranseparation beskrivna under avsnitt 1.4, samt en desinfektionsprocess vilken beskrevs i avsnitt 1.5. Gemensamt åstadkommer dessa teknikkombinationer en multibarriärfunktion. Det blir däremot viktigt att finna teknikkombinationer som ger en godkänd dricksvattenkvalitet där resursåtgång och miljöpåverkan blir minimal.



Figur 3. Schematisk tänkbar systemutformning vid direkt recirkulation av avloppsvatten till dricksvatten (Sydvatten AB och VA SYD 2021).

### Produkt

Dricksvatten.

### Fördelar

- Möjlighet till väldigt hög reningseffektivitet med borttagning av en stor andel organiska mikroföroreningar.
- Korta produktionstider av dricksvatten jämfört med system för indirekt återanvändning till dricksvatten.
- Kompakta systemlösningar.
- Mängden avloppsvatten som finns tillgängligt för dricksvattenproduktion är i princip alltid högre än dricksvattenbehovet p.g.a. tillskottsvatten i systemet.

### Nackdelar

- Högt energibehov för rening.
- Höga driftkostnader jämfört med system för indirekt återanvändning till dricksvatten.
- Känsliga för plötsliga och kortvariga variationer i inkommande vatten.
- Kortare tid för att upptäcka och åtgärda eventuella kvalitetsproblem i det dricksvatten som produceras.
- Inte samma möjlighet till buffertvolym jämfört med system för indirekt återanvändning till dricksvatten som kan möta ett varierande dricksvattenbehov.
- Trots hög barriäreffekt av enstaka ingående reningstekniker krävs flera redundanta mikrobiologiska barriärer.
- Eventuell låg acceptans för en direkt återanvändning till dricksvatten om inget uppenbart behov för just denna systemlösning föreligger.
- Det saknas även här, liksom för avsnitt 2.2., ett tydligt regelverk, lagar eller krav på hur indirekt återanvändning av vatten ska implementeras.

### Referensprojekt

Eftersom det i Delsyntes 1a: Vatten tydligt kom fram att det inte finns ett uppenbart behov för en direkt återanvändning av renat avloppsvatten till dricksvatten i Sverige, så finns det inte heller många praktiska erfarenheter från praktiska tillämpningar i Sverige. Det enda fullskalereferensprojekt i Sverige är Mörbylångas nya vattenverk med delvis direkt återbruk av renat industriavloppsvatten i kombination med användning av



grundvatten för att säkra vattenförsörjningen<sup>18</sup>. Reningsystemet för avloppsvattnet består av både traditionell rening, ultrafiltrering, omvänd osmos och mineralisering plus flera mikrobiologiska barriärer.

I Visborg på Gotland planeras det för BDT-vattenrening till dricksvattenkvalitet.

Ett annat referensprojekt som också fått stort internationellt genomslag är Sveriges första öl bryggd på renat avloppsvatten PU:REST som togs fram inom ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet, Nya Carnegiebryggeriet och Carlsberg Sverige<sup>19</sup>. Avloppsvatten från Stockholm renades vid pilotanläggning Hammarby Sjöstadsvärk med hjälp av MBR-tekniken och kompletterades med bl.a. aktivt kol, omvänd osmos och UV-desinfektion.

Dessutom har en förstudie för både direkt och indirekt återanvändning av avloppsvatten vid Nya Sjölanda ARV i Malmö genomförts av Sydsvatten och VA-Syd i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet och Sweco (Sydsvatten och VA-Syd 2021).

I utlandet såsom i Australien, USA och Singapore, finns flera fullskalareferenser för en direkt återanvändning av avloppsvatten till dricksvatten (Sydsvatten och VA SYD 2021). I Windhoek, Namibia återanvänds avloppsvatten till dricksvatten sedan 1968<sup>20</sup>.

### Projektgruppens bedömning

Att få acceptans för en direkt återanvändning av renat avloppsvatten till dricksvatten bedöms vara mer utmanande jämfört med indirekt återanvändning som beskrevs i avsnitt 2.3. Vid situationer såsom akut vattenbrist, eller andra problem med vattenåtkomst som innebär att alternativa lösningar är begränsade, ökar dock acceptansen för denna typ av vattenåterbruk. Projektgruppen bedömer att lösningen framför allt kan bli aktuell i svenska storstadsregioner, som en del i en robust vattenförsörjning med extra redundans, även under perioder med temporär vattenbrist.

Dricksvattensystem som enbart består av en direkt återanvändning av renat avloppsvatten bedöms inte bli aktuella i Sverige i stor skala på lång sikt. Dock kan mindre system i de mest utsatta regionerna med vattenbrist såsom Gotland bli ett mer hållbart cirkulärt alternativ för både dricksvattenförsörjning och vattenresurshantering jämfört med lösningar med avsaltning. Jämfört med drift- och underhållskostnader för avsaltningsanläggningar blir anläggningar för direkt recirkulation alltid billigare. Det osmotiska trycket i renat avloppsvatten är en till flera tiopotenser lägre än det osmotiska trycket i havsvatten.

<sup>18</sup> <https://www.morbylanga.se/bygga-bo-miljo/Vatten-och-avlopp/Avslutade-projekt/Nytt-vattenverk-i-Morbylanga/>

<sup>19</sup> <https://okorkat.se/together-towards-zero/noll-vattenspill/purest/>

<sup>20</sup> <https://www.veolia.com/en/newsroom/news/drinking-water-recycling-wastewater-windhoek-namibia> april 2023



### 3 Relevanta innovativa tekniker/system

Under senare år har det utvecklats flera innovativa tekniker som kopplar till rening av avloppsvatten och därmed en möjlig återanvändning. Till dessa tekniker kan utveckling av nya adsorbenter såsom biokol från olika organiska material inklusive avloppsslam från ARV nämnas. Även adsorbenter baserade på metal-organic framework, s.k. MOF-material, är en förhållandevis ny klass av nanoporösa kristallina material som kan användas som adsorbenter och katalysatorer i vattenrening.

Utveckling av innovativa tekniker som minskar resursförbrukning vid rening av mikroföroreningar är ett annat område som avancerar. Hydrodynamisk kavitation är ett exempel på en innovativ teknik som huvudsakligen använder energin från kavitationsbubblor för att avlägsna olika mikroföroreningar från avloppsvatten.

Inom membranseparation pågår också mycket utveckling. Både nya membranmaterial och effektivare membranmoduler utvecklas. Här finns även nya tekniska utformningar som ska optimera befintliga membrantekniker.

Projektgruppen har valt att inte beskriva dessa olika tekniker i detalj. Detta beror dels på att antalet nya tekniker stadigt ökar, dels på att det finns en begränsad kunskap om teknikernas för- och nackdelar vilket beror på att de är i en tidig utvecklingsfas. Det behövs också mer erfarenheter och att andra parametrar vägs in i utvärderingen, för att på så sätt kunna bedöma teknikernas framtida roll för en återvinning av vatten från avloppsvatten bättre.



## 4 Referenser

- Andersson, S.L., Andersson, S., Baresel, C., Eriksson, M., Narongin-Fujikawa, M., Carranza Munzos, A., Yang, J.J., Bornhold, N., Karlsson, J. 2023. Long term trials with membrane bioreactor for enhanced wastewater treatment coupled with compact sludge treatment - pilot Henriksdal 2040, results from 2021-2022. IVL Svenska Miljöinstitutet, B2461.
- Baresel, C., Habagil, M., Malovanyy, A., Hedman, F., Schleich, C. 2024. Förstudie - Mikroföroreningar vid Getteröverket i Varberg: Tekniska lösningar för en utökad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C811.
- Baresel, C., Andersson, J., Sundin, A.M., Olofsson, L., Malovanyy, A., Karlsson, L., Petersson, M., Götlind, O., Högberg, C.J., Svanberg, N., Karlsson, J. 2023a. Pilotstudie läkemedelsrening på Kungsängsverket. Uppsala Vatten och Avfall AB, NV-02959-20.
- Baresel, C., Bornold, N., Malovanyy, A., Rahmberg, M., Lundwall, T., Lindblom, E., Carranza Munoz, A. 2023b. Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL - Årsredovisning för 2022. IVL Svenska Miljöinstitutet B2469.
- Baresel, C., Andersson, S.L., Yang, J.J., Bornold, N., Malovanyy, A., Rahmberg, M., Lindblom, E., Karlsson, L. 2022a. Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL - Årsredovisning för 2020 - 2021. IVL Svenska Miljöinstitutet B2444.
- Baresel, C., Narongin-Fujikawa, M., Lundwall, T., Karlsson, J., Björk, A., Bornold, N., Söhr, S. 2022b. Pulveriserat aktivt kol i kombination med MembranBioReaktor (PAK-MBR) - Etablering och tester med en pilotanläggning vid Hammarby Sjöstadsverk. IVL Svenska Miljöinstitutet C713.
- Baresel, C., Malovanyy, A., Karlsson, L., Bornold, N., Habagil, M., Keucken, A. 2021a. Förstudie - Läkemedelsrening vid Getteröverket i Varberg - Utredning om behov och möjligheter för en utökad rening av avloppsvatten från mikroföroreningar. IVL Svenska Miljöinstitutet och Vatten & Miljö i Väst AB, rapport U6531.
- Baresel, C., Hedman, F., Bornold, N., Yang, J.-J., Harding, H., Filipsson, S., Wahlund, A., Nygren, H., Sedman, H. 2021b. Innovativ rening av läkemedelsrester vid återvinning av avloppsvatten vid Visby reningsverk. Region Gotland, i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapport N 2021/196.
- Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. 2017. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C235.
- Edefell, E., Ullman, R., Bengtsson, E. 2019. Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2019-1.
- Ekgren, Ö., Filipsson, S., Baresel, C., Karlsson, J., Winberg von Friesen, L., Blomqvist, S., Hasselgren, M., Grosch, J., Lazic, A., Stapel, H., Fassbender, M., Feldthusen, M., Hellman, J. Nordin, A. 2020. The municipal wastewater treatment plant of the future – A water reuse facility. Evaluation of a full-scale tertiary treatment system for removal of pharmaceuticals and recovery of water at the WWTP Stengården in Simrishamn, Sweden. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C538.
- Frihammar, E., Barup, J. 2021. Vilket vatten till vad? Hållbar vattenförsörjning genom användning av alternativa vattenkällor, Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 2021-20.
- Knutsson, J., Knutsson, P. 2021. Water and energy savings from greywater reuse: a modelling scheme using disaggregated consumption data. Int J Energ Water Res 5, 13–24. <https://doi.org/10.1007/s42108-020-00096-z>
- Naturvårdsverket, 2022. Analys av vilka åtgärder som behövs för att genomföra EU-förordningen om minimikrav för återanvändning av vatten - Redovisning av ett regeringsuppdrag.



- Hoyer, K. 2019. Återvunnet avloppsvatten för industriell användning och bevattning. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2019-21.
- Johansson, M., Albinsson, M., Regnell, F. 2022. Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten. SVU-rapport 2022-3. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Lindberg, J. 2022. Komplettering till Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö. Växjö kommun.
- Lindberg, J. 2020. Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö. Växjö kommun.
- Lövdahl, W. 2019. Renat avloppsvatten för bevattning i jordbruk - Vilka ämnen begränsar användningen av Skånes avloppsvatten i jordbruket? (Examensarbete). Centrum för miljö och klimatforskning Lunds universitet.
- Olivieri, A., Crook, J., Anderson, M., Bull, R., Drewes, J., Haas, C., Jakubowski, W., McCarty, P., Nelson, K., Rose, J., Sedlak, D., Wade T. 2016. Expert panel final report: Evaluation of the Feasibility of Developing Uniform Water Recycling Criteria for Direct Potable Reuse, State Water Resources Control Board Division of Drinking Water Sacramento, California, USA.
- Sehlén, R., Malmberg, J., Baresel, C., Ek, M., Magnér, J., Allard, A.-S., Yang, J. 2015. Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten vid tekniska verken i Linköping AB IVL Rapport B 2218.
- Sydvatten och VA SYD 2021. Cirkulär vattenanvändning - Utredning av möjligheten att recirkulera renat avloppsvatten från Sjölunda avloppsreningsverk till dricksvatten.
- von Sonntag, C., von Gunten, U. 2012. Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment From Basic Principles to Applications. IWA: London. p. 306.
- Takman, M., Cimbritz, M., Davidsson, Å., Paul, C., Svahn, O., Blomqvist, S. 2022. Återanvändning av renat avloppsvatten - Potential efter rening med en membranbioreaktor följt av granulerat aktivt kol. SVU-rapport 2022-14. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Wallin, J., Knutsson, J., Karpouzoglou, T. 2021. A multi-criteria analysis of building level graywater reuse for personal hygiene. Resources, Conservation & Recycling Advances, 2021. 12: p. 200054.



## Delsyntes 2b: NÄRINGSÄMNINGEN

### Tekniker och system samt referensprojekt

I denna delsyntes presenteras tillgängliga tekniker och system för återanvändning och återvinning av växtnäring från avlopp. Innehållet är en fortsättning och vidareutveckling av en tidigare delsyntes (Delsyntes 1b: Näringsämnen). Den primära målgruppen för den sammanfattade informationen är svenska myndigheter och kommuner. Föreliggande delsyntes är projektgruppens reviderade slutversion och är baserad på granskning och inspel från både experter inom området, berörda myndigheter och den breda referensgruppen.

Inledningsvis presenteras tillgängliga tekniker, följt av befintliga system för återbruk av näringsämnen. Avsnitten är kortfattat presenterade och beskrivs avseende för- och nackdelar. Till skillnad från delsyntes 1, som beskrev tillgång och behov av näringsämnen, handlar denna syntes om att bedöma mognadsgrad. Framförallt är det teknisk mognadsgrad som avses, även förkortat TRL (technology readiness level) och visas översiktligt i figuren nedan. Där visas att TRL kan anges på en skala från 1 till 9, där 1 till 4 på skalan i grova drag motsvarar forskning och utveckling av tekniken, medan siffran 4 till 6 innebär att tekniken är mogen för att demonstreras. De högre siffrorna från 7 till 8, kan betraktas som en mognadsgrad nära fullskalig implementering och vid 9 finns applikationer där tekniken är i fullskalig drift. När en teknik bedöms med TRL-nivå 9 betyder inte detta att tekniken är fulländad. Denna nivå innebär att tekniken är testad för drift och att den har utvärderats och använts i större skala. Det kan däremot fortfarande finnas behov för utveckling och optimering. I respektive avsnitt här nedan presenterade tekniker representera olika teknikmognad, vilket beror på att flera olika tekniker eller processer befinner sig i olika utvecklingsstatus. I dessa fall anges flera TRL-nivåer.

TRL

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Forskning	Tillämpad forskning	Teknikdemonstration			Tekniskt system, kvalificering och drift			
			Teknikutveckling					
					Tekniskt system, utveckling			

Utöver att ange teknikernas TRL, har projektgruppen också gjort en bedömning av teknikernas/systemens potential att ingå i Sveriges framtida hantering av avloppsströmmar med återanvändning och regenerering av näringsämnen i fokus. Slutligen anges också tillgängliga referensprojekt. Det är framför allt erfarenheter från Sverige som anges för respektive teknik/system.

Tekniker eller system som syftar till effektivisering eller minskning av näringsanvändning har inte inkluderats, eftersom fokus för syntesprojektet ligger på tekniker för att utvinna näringsämnen från avlopp för återanvändning.



## Innehåll

1	Befintliga tekniker .....	2
1.1	Återanvändning av näringsämnen via bevattning med renat avloppsvatten.....	2
1.2	Återanvändning av näringsämnen via slamspridning .....	4
1.3	Återvinning av näringsämnen från rejektivatten och andra högkoncentrerade avloppsfraktioner.....	6
1.4	Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam.....	9
2	Befintliga system för återbruk av näring.....	12
2.1	Konventionella avloppssystem.....	12
2.2	Källsorterande system: Svartvattensortering.....	13
2.3	Källsorterande system: Urinsortering.....	15
3	Relevanta innovativa tekniker/system.....	16
4	Referenser.....	17

# 1 Befintliga tekniker

## 1.1 Återanvändning av näringsämnen via bevattning med renat avloppsvatten

### Beskrivning

Utgående vatten från reningsverk kan lagras i dammar för att sedan användas för bevattning av jordbruksmark. Lagrat vatten innebär en möjlighet för att återvinna både vatten och kvarvarande näringsämnen i avloppsvattnet. Dammar för lagring av renat avloppsvatten för bevattning av åkermark finns på Gotland där vissa anläggningar har drivits ända sedan 1980-talet. Vattenkvaliteten är avgörande för hur återvinningen ser ut och utnyttjas.

Under 2020 utkom *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/741 om minimikrav för återanvändning av vatten*. Kvalitetskraven på det reade avloppsvattnet klassas beroende på typ av gröda som ska bevattas i klass A, B, C & D. Klass A avser livsmedelsgrödor som odlas med ätliga delar ovan jord som inte kommer i direktkontakt med vattnet. Klass B & C avser bearbetade livsmedelsgrödor samt grödor som ej är livsmedel, exempelvis fodergrödor för mjölk- och köttproducerande djur. Klass D avser grödor för industri, energi samt sådda grödor. Klass C bevattas endast med droppbevattning, medan övriga klasser kan bevattas med alla typer av bevattning. Avloppsreningsverk som levererar vatten för återanvändning ska ha minst sekundär avloppsrening samt desinfektion (reduktion av bakterieinnehåll), där krav finns på kvalitet men inte på teknik. Exempelvis finns olika krav gällande halter av *E.coli* för de olika klasserna. Förordningen togs framför allt fram med anledning av den vattenbrist som råder i Södra Europa, och kommer att gälla som minimikrav från juni 2023.

Under 2021 fick Naturvårdsverket i uppdrag att analysera och utreda hur förordningen avseende minimikrav för återanvändning av vatten kunde implementeras i Sverige. Naturvårdsverket konkluderade att förordningen främst kommer att tillämpas i områden där vattenbrist råder och att varje verksamhet som vill nyttja återvunnet avloppsvatten





för jordbruksändamål också behöver söka tillstånd för det. De krav som finns och som ska eftersträvas ser annorlunda ut beroende på vilken klassning som vattnet ska ha. Detta är direkt kopplat till vilken produktion som ska bedrivas; produktion av grönsaker som ska konsumeras råa innebär exempelvis en hög klassning och god vattenkvalitet på avloppsvattnet. Detta kan jämföras med produktion av fodergrödor (icke matgrödor) som innebär en lägre klassning och inte fullt lika god vattenkvalitet (Lövdahl, 2019). I vissa fall, och för att nå den högre kvaliteten på vattnet, kan det ibland vara nödvändigt att det lagrade vattnet behöver kompletteras med en behandling så att bland annat bakterieinnehåll och halten av suspenderade ämnen minskar.

#### Produkt

Renat avloppsvatten till bevattning.

#### Fördelar

- Kan vara en enkel teknik om inte extra reningssteg behövs.
- Återvinner både vatten och kvarvarande näringsämnen.

#### Nackdelar

- Ytkrävande om lagring i dammar behövs.
- Kräver relativt god ingående kvalitet på avloppsvattnet och att metallhalter är låga.
- Utbyggnad av ledningsinfrastruktur krävs för längre transport av vattnet, annars är återvinningen begränsad till lokal användning.
- Begränsad mängd kväve och fosfor kan återföras då dessa näringsämnen till stor del avskiljs vid föregående reningssteg.
- De oönskade ämnen som inte avskiljs på reningsverket riskerar att spridas.
- Näringsrikt vatten i öppna dammar kan under sommarhalvåret ge upphov till kraftig alg tillväxt som skapar tekniska problem vid pumpning och spridning av vattnet.
- Då användarna av vattnet blir en del av reningsprocessen krävs avtal som säkerställer att vattnet tas om hand på ett sätt som säkerställer det behandlade vattnets kvalitet.

#### Teknikmognad (TRL)

									↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

#### Referensprojekt

- I Sverige har renat avloppsvatten använts för att bevattna jordbruksmark på Gotland sedan 1980-talet. Även biodammar används delvis som reningsprocess på Gotland före användning av vatten till bevattning, benämnt Gotlandsmodellen.
- På Öland bevattnas jordbruksmark med renat avloppsvatten, vilket gett goda resultat (Hoyer 2019). Även i Enköping används renat avloppsvatten för bevattning (Naturvårdsverket, 2022).
- På flera håll i världen har renat avloppsvatten under lång tid och i stor skala använts för bevattning av jordbruksmark, exempelvis i Frankrike, Israel, Belgien och Tyskland (Hoyer 2019).

#### Projektgruppens bedömning

Bevattning av åkermark med behandlat avloppsvatten har potential, särskilt i områden där återkommande vattenbrist råder under odlingsäsongen. Till följd av klimatförändringar, ett ökat fokus på cirkularitet och implementering av avancerad



rening på fler reningsverk finns anledning att tro att intresset för återanvändning kommer öka något, även i Sverige. Det är dock osannolikt att återanvändning av vatten för bevattning kommer bli ett system som implementeras på nationell nivå i Sverige. På lokal skala under sommarhalvåret bedöms bevattning med renat avloppsvatten framgent vara en pusselbit i områden med svår vattenbrist, men ur näringsåtervinningssynpunkt minskar potentialen med högre krav på fosfor- och kväverening i framtiden. Det finns en teoretisk möjlighet att ta ut delvis renat avloppsvatten, med högre halt näringsämne, i ett tidigare processteg. Dock riskerar innehållet av oönskade ämnen i så fall vara högre.

## 1.2 Återanvändning av näringsämnen via slamspridning

Beskrivning
<p>Vid rening av spillvatten avskiljs slam från vattenfasen. Slammet stabiliseras med rötning eller långtidsluftning innan det avvattnas. Det finns minimikrav i lagstiftningen för hur slam får hanteras och spridas, men idag saknas lagkrav på hygienisering. Genom det frivilliga certifieringssystemet Revaq ställs högre krav på slamkvalitet och ett krav på hygienisering före spridning. Certifieringen har även ett krav på ett ständigt uppströmsarbete för att minska mängden oönskade ämnen vid källan samt spårbarhet och transparens.</p> <p>I princip all fosfor som inkommer till reningsverket hamnar i slammet och kan återföras via spridning av slam till jordbruksmark. För kväve är det en betydligt mindre del (upp till en tredjedel) och ännu mindre för svavel (upp till en femtedel) och kalium (bara någon enstaka procent) (Malovanyy et al., 2022). Även metaller och andra oönskade ämnen kan återfinnas i avloppsslam, vilket gör att slamspridning idag är kontroversiellt. Påverkan av metaller och vissa organiska miljögifter har utretts mer noggrant, medan kunskapen om spridning av PFAS via slam och dess påverkan inte är lika bra utrett (Hörsing, 2018; Länsstyrelsen Stockholm, 2021).</p> <p>Två långliggande, vetenskapliga fältförsök med slamspridning finns i Skåne, där effekten av slam som gödselmedel har undersökts sedan 1980-talet. Ambitionen har varit att undersöka om slammet är en tillgång i växtodlingen. Fältförsökens växtföljd väljs av lantbrukarna vars mark ingår i studien. Slammets påverkan på åkermarken har följts under 37 år, vilket är unikt i Sverige och i världen. Hushållningssällskapet har publicerat en sammanställning av försöken (Hushållningssällskapet, 2021).</p>
Produkt
<p>Avvattnat avloppsslam som kan vara rötat eller stabiliserat på annat sätt. Slam från ett antal reningsverk kan vara kalkat (stabiliseringsmetod) och/eller pelleterat (produktifiering). Avloppsslam innehåller de ämnen som kommer till reningsverket och som avskilts från spillvattnet och som inte avgår som gas i reningsprocessen. För näringsämnen är det 90-95 % av inkommande fosfor och 10-20 % inkommande kväve, beroende på reningsverkets process.</p>
Fördelar
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Väl etablerad teknik.</li><li>▪ Kräver inga tekniskt komplicerade extra steg och stör inte reningsprocessen.</li><li>▪ Kan innebära hög fosforåtervinning förutsatt att slammets fosfor är, eller inom några år blir, lika växttillgängligt som den i mineralgödsel. Viss återförsl av kväve sker.</li></ul>



- Tillför mullämnena.
- Återför vissa makro- och mikronäringsämnen.
- Kvalitetssystem och etablerad infrastruktur samt affärsmodeller för slam finns redan på plats.
- Avloppsslam är en befintlig resurs.

#### Nackdelar

- Omfattande transport av vatten, som kan minskas genom torkning och pelletering.
- Varierande acceptans i samhället för slamspridning.
- Lagring används ofta för hygieniseringsmetod, vilket kräver tillgång till ytor.
- Regleringar för slamgödsling begränsar användningen relativt olika grödor. Vissa livsmedelsuppköpare ställer även krav utöver lagkrav, eller tillåter inte alls slamgödsling av de grödor som de ska köpa.
- Växthusgaser avgår vid lagring och spridning.
- Osäkerhet gällande framtida krav då bland annat EU:s slamdirektiv är under utredning.
- Med slammet avskilda oönskade ämnen riskerar att följa med slammet till jordbruksmark.
- Risk för markpackning vid spridning (slammet är tungt och marken trycks ihop av fordonens tyngd).

#### Teknikmognad (TRL)



1

2

3

4

5

6

7

8

9

#### Referensprojekt

Idag sker återanvändning av näringsämnen från avlopp till stor del via spridning av avloppsslam. Under 2020 spreds 46 % av avloppsslammet på åkermark (SCB, 2022). Resterande andel slam går huvudsakligen till anläggningsjord, men även till deponitäckning och samförbränning.

#### Projektgruppens bedömning

Spridning av avloppsslam på åkermark har utförts sedan vattenklosettens införande och reningsverkens utbyggnad. Slammet har bidragit med positiva aspekter i form av ökad mullhalt och tillförsel av näringsämnen. Stora mängder fosfor återanvänds genom slamspridning.

Flera studier genomförda i Sverige har pekat på att det inte finns några nu kända tydliga risker från organiska mikroföroreningar som kan utgöra risker för människa och djur. Forskning pågår för nya oönskade ämnen som exempelvis PFAS och dess miljö- och hälsoeffekter. Kraven på slamkvalitet förväntas revideras vilket kan minska mängden slam som kan spridas på åkermark i framtiden.

Efterfrågan på slam för spridning framöver förväntas även bero av vad forskningen kommer fram till gällande miljö- och hälsopåverkan från organiska mikroföroreningar. Osäkerheten finns även om nya oönskade ämnen upptäcks vilket kan leda till att mark där slam spridits under längre tid blivit förorenad. Detta kan minska viljan att sprida slam. Kemikalieinspektionen ställer sig t.ex. mot en direktåterföringen av slam till åkermark eftersom det inte är förenligt med en miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö, varken i kortare eller längre perspektiv, eftersom det medför spridning av kända och okända farliga kemiska ämnen.



Efterfrågan av slam beror även på marknadsläget och tillgång, föroreningshalter och pris gällande mineralgödsel. Dessutom har tillståndet i världen 2021-2022 reducerat tillgången på mineralgödsel, varför efterfrågan på slamspridning kan komma att fortsätta att öka.

### 1.3 Återvinning av näringsämnen från rejektivatten och andra högkoncentrerade avloppsfraktioner

#### Beskrivning

Vid avvattning av avloppsslam bildas ett rejektivatten. För reningsverk med kemisk fosforrening är potentialen för utvinning av fosfor ur rejektivattnet begränsad eftersom fosfor i mycket stor grad binds i slammet. Fosfor i slammet kan dock fås i lösning via tillsats av syra. För reningsverk med biologisk fosforrening såsom Bio-P, ca 30 st i Sverige, återfinns en större del av fosfor i rejektivattnet, alternativt i ett syrefritt slamsteg i processen, och då är återvinning av fosfor via struvitfällning möjlig. Struvit (magnesiumammoniumfosfat,  $MgNH_4PO_4$ ) är en fast produkt som kan spridas direkt på åkermark. Struvit innehåller både fosfor och kväve, och utfällning av struvit sker spontant i rötkammare och dess ledningar på de reningsverk som har utökad biologisk fosforrening. Utfällningen är ett resultat av höga fosfathalter i slam/rejektivatten. För att struvit ska kunna användas som återvinningsmetod tillsätts vanligtvis en extern magnesiumkälla och pH ökas för att få en kontrollerad utfällning av struvit. Olika tekniker för att öka utvinningen av kväve kan vara relevanta som exempelvis tillsats av fosfor, termisk nedbrytning eller nedbrytning med syra eller bas av struviten och återcirkulering av dess magnesium och fosfor (Malovanyy et al., 2022).

Koncentrationen av kväve är betydligt högre i rejektivatten än i inkommande avloppsvatten. Rejektivatten kan därför lämpa sig för flera andra tekniker avseende kväveåtervinning (Malovanyy et al., 2022). Det finns ett flertal tekniker för att uppkoncentrera kvävet, exempelvis via klassisk eller termiskt driven ammoniakstrippning, kontaktmembran, indunstning eller destillation. Då fås en vätska med högre kvävekonzentration där sedan valet av syra avgör i vilken form som kväve återvinns i, och hur det sedan kan användas som gödningsmedel.

- Vid **klassisk ammoniakstrippning** tillsätts en bas för att höja pH-värdet så att ammonium i lösning avdrivs till ammoniak i gasfas. Ammoniakvävet avskiljs därefter från gasen via en syralösning.
- Vid **termiskt driven ammoniakstrippning** höjer man temperaturen i stället för pH-värdet för att avdriva ammoniak.
- En annan metod för att avskilja ammonium är med **kontaktmembran**. Då höjs pH-värdet för att kvävet ska övergå till ammoniak som kan diffundera genom membranet. Koncentrationsgradienten bibehålls genom att en syra absorberar och transporterar bort ammoniakgasen på andra sidan kontaktmembranet.
- **Indunstning** bygger på att vatten förångas och att koncentrationen av ämnen kvar i lösningen på så vis blir högre.
- **Destillation** är i grunden en liknande teknik som indunstning med den skillnad att den komponent som man försöker separera, i det här fallet kväve, hamnar i kondensatet (ångan) och inte i koncentratet (kvarvarande lösning). Vid indunstning sänker man pH-värdet för att behålla ammonium i lösningen, medan



man med destillation i stället höjer pH-värdet för att driva ammoniak till gasfasen.

Näringsämnen kan även utvinnas ur andra högkoncentrerade fraktioner, exempelvis ur processvatten från våtkarbonisering av slam eller kondensvatten från slamtorkning. Dessa strömmar är inte så vanliga på svenska reningsverk idag men kan bli mer vanliga i framtiden.

#### Produkt

Med struvitfällning blir slutprodukten struvit som är fast produkt innehåller fosfor och kväve. För de övriga uppkoncentreringsteknikerna fås en vätska med mellan 2-21 % kväveinnehåll (Malovany et al., 2022).

#### Fördelar

##### Samtliga tekniker

- Minskar belastningen på kvävereningen och/eller utsläppen av kväve till recipient.
- Minskar avgången av lustgas från kvävereningen och/eller från kväve som släpps ut i recipient.

##### Struvitfällning

- Beprövad teknik.
- Viss återvinning av fosfor och till en lägre grad kväve.
- Fast produkt som är lätt att hantera och i exempelvis pelleterad form kan spridas på jordbruksmark med befintlig utrustning.
- Lågt innehåll av tungmetaller och organiska föroreningar.
- Kan bli certifierad för användning i såväl konventionellt som ekologiskt jordbruk.

##### Klassisk ammoniakstripping

- Beprövad teknik.

##### Termisk ammoniakstripping

- Ingen förbrukning av bas eller syra i vissa teknikutformningar.

##### Indunstning

- Återvinning av kväve, fosfor och kalium.

##### Destillation

- Återvinning av kväve, fosfor och kalium möjlig, men från olika strömmar.

#### Nackdelar

##### Struvitfällning:

- Låg återföringsgrad av fosfor och särskilt kväve.
- Krävs tillsats av Mg.
- Begränsad av koncentrationen av fosfatfosfor i rejektet.

##### Klassisk ammoniakstripping

- Stor kemikalieförbrukning.
- Endast återvinning av kväve.

##### Termisk ammoniakstripping

- Mycket värmeenergi krävs.
- Endast återvinning av kväve.

##### Indunstning

- Salt och mikroföroreningar i produkt.
- Låg kvävehalt i slutprodukt.
- Hög elförbrukning och risk för utfällning av gips.

##### Destillation

- Hög elanvändning.



### Teknikmognad (TRL)

De olika teknikerna har olika grad av teknikmognad och det varierar även mellan olika leverantörer av teknikerna. För struvitfällning är TRL-nivån 9, klassisk ammoniakstrippning 8–9, kontaktmembran 8, indunstning 8 och destillation 7, termisk ammoniakstrippning 6-7

					↓	↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

### Referensprojekt

#### Struvitfällning:

- Det finns totalt 24 fullskaleanläggningar för struvitåtervinning i EU och totalt 80 anläggningar i världen (Muys et al. 2021).
- Försök sker även i pilotskala på RecoLab i Helsingborg för källsorterat system genom framställning av Ekobalans kretsloppsgödsel<sup>1</sup>.
- Många olika tekniker finns idag för struvitfällning, exempelvis Pearl, NuReSys, Struvia och PhosphoGREEN<sup>2</sup>.

#### Klassisk ammoniakstrippning:

- Klassisk ammoniakstrippning driftades i fullskala på Ellinge reningsverk 1992-2006 och är i drift på VEAS, Oslo, sedan 1996. Tekniken testas även i pilotskala i Helsingborg för källsorterat system genom framställning av Ekobalans kretsloppsgödsel (Malovanyy et al., 2022).

#### Termisk ammoniakstrippning:

- För termisk driven strippning av ammoniak finns exempelvis tekniken ANAStrip från GNS som har flera fullskaliga installationer på rötningsanläggningar och testas i pilotskala för återvinning av kväve från rötslam på ett kommunalt reningsverk på Tulln i Österrike. (Malovanyy et al., 2022)

#### Kontaktmembran:

- Fullskaleanläggning sedan 2018 i Münster, Tyskland och flera pilotprojekt på gång, bland annat ett på RecoLab i Helsingborg 2021-2022 inom projektet NPHarvest (Malovanyy et al., 2022).

#### Indunstning:

- Fullskaleanläggning finns för indunstning men på andra applikationer än rejektvatten. Exempelvis har EPCON fyra stycken fullskaliga installationer på rötgasanläggningar och Scandinavian Biogas har två fullskaleanläggningar (en i Huddinge på en rötgasanläggning och en i Skogn, Norge, där fiskrester rötas) (Malovanyy et al., 2022).
- Indunstning med rejektvatten har testats i pilotskala på Himmerfjärdsverket och i labbskala med vatten från Käppala avloppsreningsverk och inom Macro-projektet med rejektvatten från källsorterade fraktioner (Malovanyy et al., 2022).

#### Destillation:

- IVL och Stockholm vatten har gjort försök med destillation av ammoniak från rejektvatten efter struvitfällning (Malovanyy et al., 2022).

### Projektgruppens bedömning

I Europa finns olika tillämpningar av struvitfällning från rejektvatten, dock inte av återvinnings-skäl, utan för att stabilisera driften på reningsverken och därmed minska

<sup>1</sup> <https://www.recolab.se/utvecklingsanlaggning/>, hämtad april 2023

<sup>2</sup> [https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP\\_nutrient-recovery\\_tech\\_catalogue.pdf](https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP_nutrient-recovery_tech_catalogue.pdf), hämtad april 2023



utsläppen. Struvitfällning kan vara ett komplement till näringsåtervinning främst vid Bio-P-reningsverk som levererar slam. Struvit är det enda precisionsgödselmedlet som är tillåtet i ekologisk odling.

Flera olika tekniker finns i fullskala för att uppkoncentrera kväve från rejektvatten, vilket bedöms kunna vara en viktig del för att uppnå en högre grad av återvinning av kväve. Dock är behovet av energi och/eller kemikalier stort för teknikerna och fortsatt utveckling och utvärdering krävs. Även andelen kväve som återfinns i rejektvatten är relativt lite jämfört med kväveinnehållet i spillvatten som når reningsverken.

## 1.4 Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam

### Beskrivning

Som nämndes i avsnitt 1.2 hamnar i princip all fosfor och en liten del av kvävet som inkommer till reningsverket i slammet. Ett alternativ till att sprida slammet är att via termisk behandling av slammet producera en slamaska, ett slamkol, olika fosfatsalt eller fosforsyra som slutprodukt. Ett flertal tekniker för detta finns idag, både via förbränning, pyrolys och hydrotermisk karbonatisering (HTC) samt eventuella ytterligare processteg för att få en önskad slutprodukt.

Om slammet torkas och förbränns blir en slamaska kvar som innehåller i stort sett all fosfor från inkommande avloppsvatten. Kväve och svavel går förlorade vid förbränningen och vissa tungmetaller avgår till gasfas, som renas före utsläpp, förutsatt att temperaturen är tillräckligt hög, men renas bort före utsläpp. Slam kan även samförbrännas med kaliumrik biomassa för att skapa mer växttillgänglig fosfor i slutprodukten (Häggström et al., 2021). Med teknikerna från PAKU, EuPhore och Kubota blir slutprodukten en fosforrik aska som troligtvis får tillräckligt låga metallhalter för att få spridas inom EU<sup>3</sup>. Växttillgängligheten för fosfor i askan varierar mellan de olika teknikerna<sup>3</sup>.

För att få en annan slutprodukt än slamaska kan syra tillsättas för att lösa upp fosfor i slamaskan ska övergå i lösning. Detta är ett steg i tekniker som exempelvis Ash2Phos från EasyMining, TetraPhos från Remondis och PHOS4Green från Glatt<sup>3</sup>. Fosfor kan därefter fällas ut som ett fosfatsalt med kalcium, magnesium, järn eller aluminium beroende på processval. Alternativt kan slutprodukten fosforsyra fås efter extra processteg. Dessa slutprodukter kan jämfört med slamaskan exempelvis vara lättare att hantera och kan innehålla fosfor med högre växttillgänglighet, eller lägre halt av tungmetaller.

Ett möjligt alternativ till förbränning är att avloppsslammet torkas och pyrolyseras. Pyrolysen är en upphettning av organiskt material i syrefri miljö där slammet omvandlas till slamkol. Fosfor och en del av andra växtnäringsämnen blir kvar i slamkolet och kan återföras exempelvis genom användning av slamkolet som gödsel. Om fosfor är tillgänglig i slambiolet är inte helt kartlagt och beror bland annat på temperaturen i pyrolysisprocessen. Vid tillräckligt hög temperatur avskiljs vissa tungmetaller i pyrolysen. En del mikroföroreningar bryts ner eller avskiljs också av pyrolys och även denna process beror av temperaturen. En teknik består av både torkning och pyrolysning, Eco:S (Ekobalans). Gällande energiåtgång anges att pyrolysisgaser från avvattnat slam med

<sup>3</sup> [https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP\\_nutrient-recovery\\_tech\\_catalogue.pdf](https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP_nutrient-recovery_tech_catalogue.pdf)  
hämtad april 2023



torrsubstans över 25 % har ett energiinnehåll som normalt räcker till att driva såväl torkning som pyrolys. Endast mindre mängd el behövs då för drift av utrustningens motorer.<sup>4</sup>

Ett slamkol kan även fås via hydrotermisk karbonisering (HTC) som kan beskrivas som våtpyrolys. Vid en HTC-behandling återfinns nästan all fosfor och en stor del av kvävet i slambiokelet. Dock avskiljs inga tungmetaller eftersom processtemperaturer är lägre än vid torrpyrolys.

#### Produkt

Slamaska, kalcium-, magnesium-, järn- och aluminiumfosfat eller fosforsyra med 90–95 % av inkommande fosfor. Alternativt slambiokelet med upp till 95 % av inkommande fosfor.

#### Fördelar

##### Förbränningsprocesser med efterbehandling

- I stort sett all fosfor återfinns i askan (men växttillgängligheten i slutprodukten är dock varierande).
- Minskad risk för smittspridning då förbränningen ger en total avdödning av bakterier, virus och parasiter.
- Oftast mycket lågt innehåll av tungmetaller.
- Förbränning kan oskadliggöra många organiska föroreningar.
- Slamaskan kan förädlas till en fosforråvara för gödselproduktion.

##### Pyrolys eller HTC

- I stort sett all fosfor återvinns (men växttillgängligheten beror på pyrolystemperaturen och är till viss del osäker).
- Stabil, fast produkt med låg vikt vilket gör den lättare att transportera än slam.
- Kan ge lägre halter av metaller samt organiska föroreningar vid torrpyrolys vid höga temperaturer.
- En del organiska mikroföroreningar avskiljs eller bryts ner vid pyrolys. Även denna avskiljning och nedbrytning är temperaturberoende.
- Positiv påverkan på markstruktur och markens kolhalt och slamkelet kan även fungera som en kolsänka (halveringstiden för biokol enligt Ekobalans är ca 1500 år för produkten Eco:S<sup>5</sup>).
- I relation till förbränning kan en pyrolysisprocess implementeras på mindre reningsverk.

#### Nackdelar

##### Förbränningsprocesser med efterbehandling

- Ingen återförsel av övriga näringsämnen eller mullbildande ämnen.
- Osäker marknad för den återvunna fosforprodukten
- Energi- och kemikaliekrävande process.
- Stor investering i monoförbränning och sannolikt behov av centralisering.

##### Pyrolys eller HTC

- Varierande halt av övriga metaller beroende på processutformning och kvalitet på ingående råvara (slammet). Blir särskilt aktuellt för HTC som drivs vid lägre temperaturer.
- Osäkerhet kring framtida kvalitetskrav för slambiokelet.
- Svårbehandlat rejecktatten.

<sup>4</sup> Personlig kommunikation med Gunnar Thelin, Ekobalans, mars 2023

<sup>5</sup> Personlig kommunikation med Gunnar Thelin, Ekobalans, mars 2023





- Kan vara energikrävande, kräver en torkning av slammet först (vid torrpyrolys). Eco:S uppger dock att endast mindre mängder el erfordras<sup>5</sup>.

### Teknikmognad (TRL)

						↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

### Referensprojekt

#### Förbränningsprocesser med efterbehandling

- PAKU (Endev) fullskaleinstallation sedan 2021 i Rovaniemi, Finland.<sup>6</sup>
- EuPhore pilotanläggning i Dinslaken, Tyskland.<sup>6</sup>
- Kubota 20 fullskaleanläggningar i Japan varav 11 för avloppsslam och 4 av dem utviner fosfor sedan 2014.<sup>6</sup>
- Ash2Phos från EasyMining som har en pilotanläggning i Uppsala och en i Helsingborg. En fullskaleanläggning i Helsingborg är även planerad men ännu inte utbyggd och i Tyskland kommer tekniken att implementeras inom några år.<sup>6,7</sup>
- TetraPhos från Remondis som har en pilotanläggning i Hamburg och en Elverlingsen i Tyskland.<sup>6</sup>
- PHOS4Green från Glatt som utför tester i labb och pilotskala i Weimar, Tyskland.<sup>6</sup>

#### Slambiokol

- Pyreg har nästan femtio fullskaleanläggningar i drift varav 7 av dessa använder avloppsslam (Unkel, Homburg, Lorsbach och Kleve i Tyskland, Redwood i Kalifornien, Hammenhög i Sverige, Trutnov i Tjeckien).<sup>6</sup>
- Vid Fårevejle avloppsreningsverk i Danmark finns en teknikkombination av slamtorkning och pyrolys som årligen hanterar ca 4000 ton avvattnat slam. Värmen som produceras i pyrolysen återvinns och används för slamtorkning<sup>8</sup>. Tekniken är framtagen av Aquagreen i Roskilde, Danmark.
- I Sverige finns även Testbädd Ellinge som ska utvärdera torkning och pyrolys av slamaska (David Gustavsson, 2023).
- Pilotester med HTC-tekniken genomfördes vid Margretelund avloppsreningsverk inklusive en karakterisering och utvärdering av det producerade slamkolet med avseende för näringsåterföring (Baresel et al., 2023).

### Projektgruppens bedömning

Att termisk behandla slammet via förbränning, pyrolys eller HTC ger möjligheter att återföra fosfor och samtidigt undvika flera av nackdelarna med klassisk slamspridning. Enklare transport av produkten och minskad risk för förorenings-spridning för att nämna några även om några aspekter som t.ex. en eliminering av PFAS vid pyrolys fortfarande behöver utredas mer. Teknikerna är lovande och bedöms kunna vara en viktig del av framtidens fosforåtervinning. Det bör förtydligas att både framtida kvalitetskrav och gränsvärden kommer avgöra biokolets användande i framtiden. Även innehållet av tungmetaller och organiska föroreningar som är beroende av ingående slamkvalitet respektive behandlingstemperaturer, kommer att vara avgörande. Ett eventuellt hinder för införandet av teknikerna är att flera av dem är avancerade och energikrävande, samt att lagstiftningen behöver tillåta spridning av den tilltänka slutprodukten. Slutligen blir marknaden viktig så att produkten efterfrågas och är av intresse för bl.a. lantbruket.

<sup>6</sup> [https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP\\_nutrient-recovery\\_tech\\_catalogue.pdf](https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP_nutrient-recovery_tech_catalogue.pdf), hämtad april 2023

<sup>7</sup> <https://www.easymining.com/de/news--events/artikel-neuigkeiten/ash2phos-Deutschland/>, besökt oktober 2023

<sup>8</sup> [www.aquagreen.dk](http://www.aquagreen.dk), besökt mars 2023.



## 2 Befintliga system för återbruk av näring

### 2.1 Konventionella avloppssystem

<b>Beskrivning</b>
Med dagens konventionella avloppssystem når näringsämnen reningsverken via spillvattnet. Genom reningsprocessen på reningsverket omvandlas det mest av kväve till kvävgas i en biologisk process och avgår därmed till atmosfären. Fosfor fälls vanligen ut med hjälp av kemiska och biologiska metoder. Gemensamt leder detta till att utsläppen av näringsämnen till miljön minskar. Avloppsslammet som bildas kan hanteras på olika vis, men den teknik som ger mest återföring av näringsämnen i dagsläget är via spridning på åkermark (fler detaljer om slamspridning finns under 1.2).
<b>Produkt</b>
Beror på processval men i dagsläget är slamspridning den teknik som används för återanvändning av näringsämnen.
<b>Fördelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Befintliga utbyggda system finns tillgängliga.</li><li>▪ Dagens slamspridning återför fosfor och mullämnen till åkermark, och till viss del andra näringsämnen såsom kväve.</li><li>▪ Revaq-certifierade verk bidrar med ett kvalitetssäkrat slam med krav på ett ständigt förbättringsarbete för att minska mängden oönskade ämnen vid källan samt hygienisering, spårbarhet och transparens.</li></ul>
<b>Nackdelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Näringen i avloppsvattnet är utspädd och blandad med diverse föroreningar från exempelvis grävatten, dagvatten och påkopplade industrier, vilket minskar möjligheterna till effektiv och säker näringsåtervinning.</li><li>▪ Marken riskerar att bli kompakterad vid spridning av slam.</li></ul>
<b>Referensprojekt</b>
Med undantag för enskilda avlopp och några enstaka områden med källsorterande system är slamspridning från reningsverk den gängse metoden för hur spillvatten och slam hanteras idag.
<b>Projektgruppens bedömning</b>
Konventionella avloppssystem kommer med största sannolikhet vara en stor del av hanteringen av spillvatten inom en överskådlig framtid, trots att potentialen för näringsåtervinning av framför allt kväve och kalium är lägre än för källsorterande system (se avsnitt 2.2 nedan). Certifieringssystemet Revaq innebär ett incitament för ett uppströmsarbete som kan bidra till att minska mängden föroreningar som tillförs spillvattnet. Dessutom genomförs förtroendeskapande åtgärder då verksamheten styrs i samråd med representanter från Svenskt Vatten, Naturvårdsverket, LRF, Livsmedelsföretagen, Hushållningssällskapet m.fl.
Det bör tilläggas att användningen och acceptansen för avloppsslam sannolikt ökar om förorenat slam kan bearbetas ytterligare, vilket skulle kunna möjliggöra att mer fosfor återvinns. Att behandla avloppsslammet kan också innebära att en lägre halt av potentiellt farliga ämnen, såsom organiska föroreningar, finns kvar i näringscykeln.



## 2.2 Källsorterande system: Svartvattensortering

### Beskrivning

Med källsorterande system sorteras olika avloppsfraktioner redan vid källan vilket möjliggör för olika behandling av respektive fraktion. En genomgång av tekniker för behandling finns att läsa mer ingående under Delsyntes 2a: Vatten. I svartvattnet återfinns den största delen av näringsämnen och med källsortering undviks att denna högkoncentrerade fraktion späds ut och förorenas av gråvattnet. En fördel med källsorterande system är att återvinning av energi i form av biogas kan vara högre än i konventionella avloppssystem samt att det är lättare att återvinna näringsämnen i form av högkoncentrerade produkter och slam som är renare. Potentialen för återvinning av kväve i traditionella system via återföring av kväve från slam och rejektivatten anges till ca 30 % i Malovany et al (2022) medan potentialen i källsorterande system är 75 - 90 %. Den stora skillnaden beror bland annat på att det genom dessa system finns en stor möjlighet för kväveåterföring jämfört med konventionell kväverening där kvävet luftas bort.

Flera tekniker är möjliga för att ta vara på näringen i svartvattnet. Ett alternativ är att hela våtfraktionen behandlas och hygieniseras. För hygienisering är möjliga tekniker exempelvis olika typer av rötning eller torkning eller användning av urea eller kalk. De tekniker för uppkoncentrering av näringsämnen som nämnts under 1.3 kan även vara relevanta för svartvatten. Koncentratet kan även förädlas vidare till en fast form (exempelvis pellets) (af Petersens och Strand, 2022).

### Produkt

Beror på processval men exempelvis hela våtfraktionen, fasta produkter såsom struvit, ammoniumsulfat eller pellets (af Petersens och Strand, 2022).

### Fördelar

- Svartvatten utan föroreningar från gråvatten eller industrier ökar potentialen för säker näringsåterföring.
- Bättre biogasutvinningspotential.
- Bättre värmeåterföringspotential ur gråvattnet (högre temperatur och mindre föroreningar jämfört med blandat spillvatten).
- Bättre smittskydd.
- Den högre koncentrationen av näringsämnen ökar potentialen för resurseffektiv näringsåtervinnig.

### Nackdelar

- Osäkerhet kring framtida lagkrav på produkterna.
- Tekniker som används för näringsåtervinning från svartvatten kan kräva resurser i form av energi och kemikalier.
- Kan endast appliceras vid nybyggnation och/eller omfattande ombyggnad av avloppssystem, som stamrenovering.
- Begränsat med driftserfarenheter för tekniska för hantering av de olika fraktioner.

### Referensprojekt

H+ är ett stadsförnyelseprojekt i Oceanhamnen i Helsingborg som vid projekt slut kommer att innefatta bostäder för 10 000 personer. Inom stadsförnyelseprojektet genomfördes EVAA-projektet (Energi, Vatten, Avlopp, Avfall). Inom EVAA-projektet togs ett förslag på källsorterat VA-system fram. Systemet är ett så kallat "Tre-Rör-Ut-koncept" där svartvatten och gråvatten leds till återvinningsverket RecoLab via en



vakuumpumpstation. Varje fastighet i området har även pumphus som möjliggör att även matavfall leds till RecoLab. På RecoLab behandlas gråvatten med biologisk fosforering (Bio-P) för rening av organiskt material, fosfor och kväve. Sedan filteras vattnet med trumfilter och sedan nanofiltrering. Koncentratet från nanofiltreringen återcirkuleras till den biologiska reningen. Svartvatten och matavfall hanteras på RecoLab i separata röt-kammare för att utvinna biogas. Efter rötning kan struvit och ammoniumsulfat utvinnas efter att vattnet från röt-kammaren dekanteras (Kvarnström et al., 2022).

I området Munga i Västerås kommun har ett system införts med separat svartvatten och separat gråvatten. Systemet omfattar ca 300 befintliga friliggande hus. I systemet leds svartvatten med lättrycksavlopp (LTA) och samlas i en mellanlagring på ett jordbruk för att sedan hygieniseras för att möjliggöra användning som gödsel på ett jordbruk. Anledningen till att LTA-system implementerats i stället för ett vakuumsystem i detta referensprojekt beskrivs vara på grund av att projektet innefattas av befintliga bostäder och inte nybyggnation. Gråvatten renas i en gemensam markbaserad reningsanläggning (Kärrman et al., 2017).

HAMBURG WATER CYCLE® utvecklades av Hamburg Wasser. I projektet installerades källsorterande koncept i nya byggnader i bostadsområdet Jenfelder Au, beläget i östra Hamburg. I konceptet samlas svartvatten in via vakuumtoaletter och vakuumledningar, vilket möjliggör anaerob stabilisering och biogasproduktion som används lokalt för elektricitet- och värmeproduktion i bostadsområdet. Behandlingen av det källsorterade gråvattnet utreds med membranteknik och en fast bioreaktor med bärare (fixed-bed bioreactor) i pilotskala. I projektet samlas dagvatten upp i diken som mynnar ut i en dagvattendamm. I projektet återanvänds inte behandlat gråvatten eller växtnäring i svartvattnet, men det är ett framtida mål. När området är färdigutvecklat kommer 835 hushåll med mer än 2000 personer, att vara kopplade till systemet (Kvarnström et al., 2022).

Nieuwe Dokken i Gent är en ny stadsdel i norra Gent med 430 bostäder 2025. I systemet samlas svartvatten från vakuumtoaletter och kvarnat matavfall in gemensamt i ett vakuumledningssystem som sambehandlas för att producera biogas. Struvit fälls ut i dekantatet. Gråvatten i detta system samlas upp separat i ett självfallssystem. Gråvattnet blandas med det rötade klosettvattnet från biogasanläggningen i en behandlingsanläggning med aktivslambehandling och aerob membranbioreaktor. När gråvattnet är behandlat säljs det som tekniskt vatten till ett lokalt företag, Christeys. Från gråvattnet återvinns även värme som täcker en tredjedel av värmebehovet i området (Kvarnström et al., 2022).

I Sneek norr om Amsterdam har man installerat källsorterande system i två olika områden: Sneek Lemmerweg och Sneek Noorderhoek. I Lemmerweg har 32 hushåll källsorterande system och i Noorderhoek ska 250 vara anslutna vid projektslut. Systemen går under namnet Waterschoon. Svartvatten och matavfall samlas in med vakuumsystem och källsorterat hushållspillvatten hanteras i ett lokalt reningsverk. Svartvatten och matavfall rötas utan förbehandling eller förtjockning. Utloppet från biogasreaktorn behandlas med kväverening i en anammoxreaktor innan struvit fälls ut för fosforåtervinning (Kärrman et al., 2017).



### Projektgruppens bedömning

Det finns ett växande intresse för källsorterande avloppssystem men utbyggnadstakten är i nuläget låg, trots att källsorterande tekniker har testats på åtskilliga platser under lång tid. Utbyggnaden är också främst begränsad till nybyggnation. Inom en överskådlig framtid kan antalet källsorterande system antas vara marginell sett ur ett nationellt perspektiv, om inte nationella strategier ändras. Det finns dock stor anledning att se över möjligheterna att implementera nya källsorterande system då det ökar potentialen till ett resurseffektivt och säkert tillvaratagande av näring från avlopp. Källsorterande system underlättar bebyggelse av nya områden utan att befintlig infrastruktur i form av ledningar och avloppsreningsverk behöver byggas ut.

## 2.3 Källsorterande system: Urinsortering

### Beskrivning

Med urinsorterade system hanteras urin separat från fekalerna redan vid källan. Olika systemlösningar är möjliga för urinsorterade system, dels i enskilda hus, dels i centraliserade system i nya bostadsområden. Urin kan samlas i vätskeform eller koncentreras via exempelvis torkning, indunstning, destillering eller omvänd osmos. I urin finns huvuddelen av näringen kombinerat med en låg grad av föroreningar, vilket ger stor potential för återvinning.

### Produkt

Urin. I vätfas, torkad eller processad på annat vis.

### Fördelar

- Ren ström som innehåller en stor del näringsämnen. Omkring 75-80 % av kvävet och ca 50-60 % av fosfor i hushållspillvattnet är uppskattat att kunna återvinnas med urinsortering (Jönsson et al., 2005; Jönsson, 2019).
- Mycket låga halter av tungmetaller och patogener.
- Finns system som inte kräver avancerade tekniker för återbruk.
- Avlastar avloppssystemet från kväve- och fosforbelastning.

### Nackdelar

- Antingen begränsat till användning på lokal nivå eller behov av ombyggnation av avloppssystemen.
- Krävs vidareutveckling av urinsorterade lösningar för att minimera problem med bl.a. stopp i ledningar och lukt.
- Krävs införande i större skala för större urval av toaletter och för allmän spridning av kunskap om installation och underhåll.

### Referensprojekt

Urinsorterade system finns ännu inte installerade i någon större skala i Sverige. Flera planer på att bygga större system med urinsortering har funnits, bland annat i Hammarby sjöstad i Stockholm, men planerna har slopats till följd av osäkerheter kopplat till exempelvis hygien, teknik och kostnader. Det har även funnits urinsorterade system som sedan avvecklats i exempelvis i Tanums kommun för enskilda avlopp, Ekoporten i Norrköping, Palsternackan i Nacka, och Hågaby i Uppsala (Kärman et al., 2017).

Ett område som installerade urinsorterade toaletter 1995 som fortfarande är i bruk är ekobyen Understenshöjden i Stockholm. Ekobyen består av 44 radhus där toaletterna är dubbelspolande och urinsorterade. Urinen transporteras via ledningar under gångvägarna till uppsamlingstankar. Urinen levereras sedan en gång om året till en



jordbrukare som använder den som gödningsmedel till sina vall- och veteodlingar<sup>9</sup>. Dock bestämdes i 2023 att även detta system nu ska läggas ner av tekniska orsaker<sup>10</sup>.

#### Projektgruppens bedömning

Urinsortering introducerades redan på 1990-talet och testades i flera mindre bostadsområden i Sverige. Tekniken var då omogen och skapade drifts- och skötselproblem på flera håll. Urinsortering fick ett dåligt rykte, som fortfarande belastar tekniken. Det skulle kunna finnas möjligheter för en comeback för tekniken i form av en "ren" växtnäringsprodukt. Den kan också samtidigt minska kvävebelastningen på inkommande spillvatten till reningsverken. På hushållsnivå skulle urinsortering, tillsammans med urintorkning under toaletten, kunna installeras i lägenheter även utan stambyte, vilket kan vara en möjlighet även om flera tekniska utmaningar kvarstår. Inom en överskådlig framtid kan antalet urinsorterade system antas vara marginella sett ur ett nationellt perspektiv, om inte nationella strategier ändras. Det finns dock en stor anledning att se över möjligheterna att implementera nya urinsorterade system, då det eventuellt kan öka potentialen till ett effektivt och säkert tillvaratagande av näringsämnen från avlopp samt väsentligt underlätta att nå hårda utsläppskrav, speciellt för små reningsverk.

## 3 Relevanta innovativa tekniker/system

Många tekniker för återvinning av näringsämnen är under utveckling. En övergripande sammanställning som uppdateras kontinuerligt går att hitta på <https://www.phosphorusplatform.eu/activities/p-recovery-technology-inventory>

<sup>9</sup> Personlig kommunikation med Elisabeth Kvarnström, Ecoloop, april 2023

<sup>10</sup> <https://cirkulation.se/artiklar-och-notiser/kallsorterande-avloppssystem-sedan-28-ar/>



## 4 Referenser

- af Petersens, E., Strand, L. 2022. MACRO 3: Återföring av näring från källsorterade avlopp - nulägesstudie.
- Baresel, C., Axegård, P., Lazic, A., Bornold, N., Yang, J.-J., Malovanyy, A. 2023. Framtidens slamhantering vid Roslagsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Gustavsson, D. 2023. Testbädd Ellinge [WWW Document]. Testbädd Ellinge. URL <https://www.swedenwaterresearch.se/projekt/testbadd-ellinge/> (accessed 4.13.23).
- Hörsing, M. 2018. Avloppsslam på åkermark - vad behöver vi veta om oönskade organiska ämnen? (No. 2018-04). Svenskt Vatten Utveckling.
- Hoyer, K. 2019. Återvunnet avloppsvatten för industriell användning och bevattning (No. 2019-21). Svenskt Vatten Utveckling.
- Hushållningssällskapet 2021. Slamtillförsel till åkermark - Slamrapport 2015-2018.
- Jönsson, H. 2019. Fosfor, kväve, kalium och svavel - tillgång, sårbarhet och återvinning från avlopp (Rapport No. 105). Uppsala.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste 49.
- Kärrman, E., Kjerstadius, H., Davidsson, Å., Hagman, M., Dahl, S. 2017. Källsorterande system för spillvatten och matavfall - Erfarenheter, genomförande, ekonomi och samhällsnytta (No. 2017-04). Svenskt Vatten Utveckling.
- Kvarnström, E., Lennartsson, M., Widén, A. 2022. Planeringshandbok för källsorterande avloppssystem i urbana områden. MACRO 3.
- Länsstyrelsen Stockholm 2021. Metaller och organiska miljögifter i avloppsslam - Stockholms län 2009-2019. Länsstyrelsen i Stockholms län.
- Lövdahl, W. 2019. Renat avloppsvatten för bevattning i jordbruk - Vilka ämnen begränsar användningen av Skånes avloppsvatten i jordbruket? (Examensarbete). Centrum för miljö och klimatforskning Lunds universitet.
- Malovanyy, A., Johannesdottir, S., Schwede, S., Ahlgren, S., Flodin, E., Shanmugam, K. 2022. Återvinning av -näringssämnen från avlopp (No. 2022-06). Svenskt Vatten Utveckling.
- Naturvårdsverket 2022. Analys av vilka åtgärder som behövs för att genomföra EU-förordningen om minimikrav för återanvändning av vatten - Redovisning av ett regeringsuppdrag.
- SCB 2022. Utsläpp till vatten och slamproduktion 2020.
- Svenskt Vatten 2023. Regler för certifieringssystemet - Remissutgåva 2024.



## Delsyntes 2c: ENERGI

# Tekniker och system samt referensprojekt

I denna delsyntes presenteras tillgängliga tekniker och system för återvinning och användning av energi från avloppsvatten. Innehållet är en fortsättning och vidareutveckling av en tidigare syntes, delsyntes 1 som handlade om tillgång och behov av olika energiformer i avloppsvatten (Delsyntes 1c: Energi). Med återvinning och användning menas att energin återanvänds för ett nytt syfte. Projektgruppen presenterar också hur denna energikvalitet, exergi, som motsvarar energi som går att använda för att utföra ett arbete, ser ut. Den primära målgruppen för den sammanfattade informationen är svenska myndigheter och kommuner. Föreliggande delsyntes är projektgruppens reviderade slutversion och är baserad på granskning och inspel från både experter inom området, berörda myndigheter och den breda referensgruppen.

Inledningsvis presenteras tillgängliga tekniker, följt av befintliga system för återvinning av energi. Avsnitten är kortfattat presenterade och beskrivs avseende för- och nackdelar. Till skillnad från delsyntes 1, som beskrev tillgång och behov av energi, handlar denna syntes om att bedöma mognadsgrad av olika tekniker. Mognadsgraden är bedömd enligt teknisk mognadsgrad, även förkortat TRL (technology readiness level) och visas översiktligt i figuren nedan. Där visas att TRL kan anges efter en skala från 1 till 9, där 1 till 4 på skalan i grova drag motsvarar forskning och utveckling av tekniken, medan siffran 4 till 6 innebär att tekniken är mogen för att demonstreras. De högre siffrorna från 7 till 8, kan betraktas som en mognadsgrad nära fullskalig implementering och vid 9 finns applikationer där tekniken är i fullskalig drift. När en teknik bedöms med TRL-nivå 9 betyder inte detta att tekniken är fulländad. Denna nivå innebär att tekniken är testad för drift och att den har utvärderats och använts i större skala. Det kan däremot fortfarande finnas behov för utveckling och optimering. I respektive avsnitt här nedan presenterade tekniker representera olika teknikmognad, vilket beror på att flera olika tekniker eller processer befinner sig i olika utvecklingsstatus. I dessa fall anges flera TRL-nivåer.

TRL

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Forskning	Tillämpad forskning	Teknikdemonstration			Tekniskt system, kvalificering och drift			
			Teknikutveckling					
					Tekniskt system, utveckling			

Utöver att ange teknikernas TRL, har projektgruppen också gjort en bedömning av teknikernas/systemens potential att ingå i Sveriges framtida hantering av avloppsströmmar där energiutvinning vid avloppsvattenrening eller relaterade processer har stått i fokus. Slutligen anges också tillgängliga referensprojekt. Det är framför allt erfarenheter från Sverige som anges för respektive teknik/system.





## Innehåll

1	Befintliga tekniker för energi.....	2
1.1	Värmeväxlare.....	2
1.2	Värmepumpar .....	4
1.3	Elturbin .....	8
1.4	Rötning för biogasproduktion .....	9
1.5	Termisk slambehandling (förbränning, pyrolys, torkning).....	11
2	Befintliga system .....	13
2.1	Kombinationer av termisk behandling.....	13
3	Relevanta innovativa tekniker/system.....	15
3.1	Bränsleceller .....	15
3.2	Elektrolys.....	16
3.3	Salinity gradient power (Blå energi) .....	18
4	Referenser.....	20

# 1 Befintliga tekniker för energi

Det är möjligt att återvinna energi från avloppsvatten både vid avloppsreningsverk (ARV) och från avloppsvatten i bostadshus. Vid ARV kan exempelvis biogas produceras genom att slam från reningsprocessen genomgår rötning, och där biogasen sedan används som bränsle, för produktion av el och värme med mera. Vid bostadshus kan energi från avloppsvatten återvinnas genom värmeväxling. Nedanstående avsnitt beskriver övergripande olika typer av energitekniker som nyttjas i samband med vatten

## 1.1 Värmeväxlare

### Beskrivning

Värmeväxlingstekniken kan användas för att plocka ut restvärme ur ett varmt flöde som avloppsvatten eller slam. I avloppsvatten fungerar värmeväxling på så sätt att värmeväxlaren utnyttjar värmen i vattnet och överför den till ett annat medium, t.ex. ett kallare vatten. I praktiken kan värmeväxlaren antingen placeras i själva strömmen, såsom i avloppsröret, eller i en separat tank. När det varma mediet, t.ex. avloppsvattnet eller slammet, passerar genom värmeväxlaren överförs värmen till det kallare mediet. Effektiviteten för en värmeväxlare beror på flera faktorer, såsom vätskornas flödes hastighet, specifik värmekapacitet och temperatur. Även värmeväxlarens konstruktion, storlek och material påverkar. Även vätskornas föroreningsgrad inverkar, där en hög föroreningsgrad innebär en minskad värmeöverföring över tid. Ju större temperaturdifferensen mellan de två medierna är, desto effektivare är värmeöverföringen. Värmeväxling kan kombineras med värmepumpar. Värmeåterföring från BDT-vatten (bad-, disk- och tvättvatten) har två stora fördelar: låg föroreningsgrad och en högre temperatur än avloppsvatten.



Förekommande applikationer är exempelvis uttag av värme från renat avloppsvatten. Värmeväxling från rötat slam kan minska värmebehovet för uppvärmning av rötkammaren vid biogasproduktion med ca 30 - 40 % (Kjellén och Andersson, 2002).

#### Produkt

Låggradig värme (mycket låg exergi)

#### Fördelar

- Relativ enkel princip som har använts i olika områden över lång tid, t.ex. värmeöverföring vid slamrötning.
- De två media som värmen överförs emellan har inte direkt kontakt.
- Ofta utnyttjas redan existerande flöden och/eller flödes hastigheter varvid liten pumpenergi behövs.
- Värmeöverföring från BDT-vatten är mer effektivt p.g.a. låg föroreningsgrad och hög temperatur jämfört med avloppsvatten. En låg föroreningsgrad innebär lägre beläggningar och lägre underhållsbehov och högre livslängd.
- Mindre behov av kväverening om klosettvattnet hanteras separat i egen process vid källsortering och fastighetsnära hantering.

#### Nackdelar

- Värmeväxlare är ett tekniskt system som kräver noggrann dimensionering och installation för optimal värmeåtervinning.
- Trots sin relativt enkla princip kan värmeväxlare vara dyra att köpa in och installera.
- Kräver en temperaturskillnad mellan två media och en effektiv värmeväxlingsyta vilket ger en relativt låg verkningsgrad.
- Kräver en direkt användning av den återvunna låggradiga värmen för bäst resursutnyttjande.
- Vissa värmeväxlare har lätt för att sätta igen, där plattvärmeväxlare kan nämnas som exempel. Detta påverkar utformning och kräver att värmeväxlaren behöver anpassas för olika applikationer. Inom VA är rörvärmeväxlaren den som är vanligast förekommande.
- Beläggningar i värmeväxlare p.g.a. föroreningar minskar värmeöverföringen och leder till ett ökat underhållsbehov och påverkar livslängden på värmeväxlaren.
- Att återvinna värme från inkommande vatten innebär att värmeenergin i det varma flödet in till reningsverket minskar, detta kan påverka kväverening vid reningsverket negativt. Simuleringsdata från pågående projekt (Håva-projektet) avseende värmeåtervinning ute i fastigheter pekar dock på att kväverening inte påverkas.

#### Teknikmognad (TRL)

									↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

#### Referensprojekt

1. I Sverige används tekniken genom värmeväxling vid många ARV t.ex. för värmeväxling av varmt rötat slam mot inkommande kallt orötat slam. För värmeväxling av inkommande kallt substrat mot 37-gradigt rötslam och 70-



- gradigt pastöriserat slam har Rogstrand et al. (2012) uppskattat en verkningsgrad på 44 % respektive 55 % utifrån framtagna modeller.
2. Även uttag av värme från renat avloppsvatten för utvinning med värmepumpar sker med hjälp av värmeväxling. Referensexempel beskrivs i avsnitt 1.2.
  3. Lägre teknisk mognad för värmeöverföring längst ut i nätet där de största temperaturskillnaderna finns, t.ex. i dusch eller på lägenhetsnivå. Ett viktigt resultat från Håva-projektet (ref) var att värmeväxling i duschen av duschvattnet var mest effektiv. Utöver att spara energi, minskar även behovet av toppeffekt, och det innebär även lägre anslutningsavgifter och ett billigare varmvattensystem.
  4. Ett exempel för användning av värmeväxlare i utgående avloppsvatten för att värma upp det kalla inkommande avloppsvattnet och därmed minska energibehovet vid uppvärmning av tappvarmvatten för ett flerbostadshus på Gävle Strand beskrivs av Hurlov (2019). Även om en besparing i uppvärmning av tappvarmvatten med ca 11 % kunde åstadkommas, bedömdes avbetalningen för investeringen i värmeväxlaren bli lika lång som värmeväxlarens uppskattade livslängd. Det fanns alltså inget ekonomiskt incitament för införande av värmeväxling, även om stora mängder av energi under värmeväxlarens livslängd kunde sparas. Detta exempel utgår dock ifrån tillgänglig fjärrvärme till ett väldigt lågt medelpris (0,664 kr/kWh). Vid motsvarande uppvärmning av tappvatten via el bör en kostnadsbesparing uppstå.
  5. Inom LIFE+ projektet ITEST (Increased Total Efficiency in Sewage Treatment) har värmeväxling av utgående avloppsvatten undersökts i pilotskala för att värma upp inkommande kallt avloppsvatten med ambitionen att öka effektiviteten i kvävereningen (Fortkamp et al., 2013). Pilotprojekt visade att värmeväxling av inkommande avloppsvatten mot utgående avloppsvatten inte var tillräckligt och resurseffektivt när endast en värmeväxlare utan någon ytterligare uppvärmningskälla utnyttjades.

#### Projektgruppens bedömning

Värmeväxlare är en välbeprövad och känd teknik som framför allt kan användas vid större temperaturskillnader mellan två media. Inom avloppsvattensammanhang begränsas därmed en resurseffektiv användning till några få specifika områden. Dessa inkluderar framför allt värmeväxling vid slamrötning och eventuellt värmeväxling av t.ex. varmt avloppsvatten från hushåll mot inkommande kallt tappvatten. I en studie av Arnell et al (2021) påvisades det att avloppsvattenreningen i form av kväverening inte påverkades av att avloppsvatten från hushåll inkom med en temperatursänkning vid ARV. Avloppsvatten eller kylvatten från industrier kan innehålla mycket spillvärme och dessa temperaturer kan ofta vara mycket bättre lämpade för värmeväxling. Denna värmeåtervinning är dock endast av intresse vid fall av en lämplig och en direkt användning av den återvunna värmen.

## 1.2 Värmepumpar

### Beskrivning



Värmepumpar använder sig av värme som kommer från restvärme. Det är en förångare som tar emot värmen från en värmekälla, t.ex. avloppsvatten. Värmen överförs först när den genomgått en tryckhöjning via en kompressor till en värmesänka såsom tappvatten eller varmluft via en kondensator. Värmepumpar kan dock även användas för kylning under varma perioder såsom sommaren, eftersom processen kan drivas åt båda hållen. Vid användning i avloppsvatten skyddas ofta förångaren mot smuts genom att en värmeväxlare först överför spillvattenvärmen till en intern krets med något rent medium. Värmeöverföringen drivs således av eltillförsel och begränsas därmed av värmepumpens verkningsgrad (COP), som bl.a. påverkas av temperaturskillnaden från förångaren till kondensatorn. Ju varmare värmekällan är i förhållande till temperaturen i kondensatorn, desto högre COP. COP = 4 innebär att 4 kWh värme kan genereras med 1 kWh tillsatt el.

#### Produkt

Höggradig värme (eller kyla); medexergi som kan överföras till olika media som vatten och luft.

#### Fördelar

- Relativt enkel princip som har använts inom olika områden sedan länge.
- De två media emellan vilka värme överförs har inte direkt kontakt.
- Pga. köldmediet kan värmepumpar återvinna värme även från låga temperaturer.
- Den högvärdiga värmen kan överföras till existerande infrastruktur som t.ex. fjärrvärmenätet eller lokala värmekretslopp.
- Funktion för både värme och kyla.

#### Nackdelar

- För att åstadkomma värmeöverföring krävs högvärdig elenergi.
- Relativt höga investeringskostnader.
- Beroende av elenergin och därmed beroende av skiftande elpris.
- Vid smutsiga värmekällor som orenat avloppsvatten behövs en värmeväxling innan värmepumpen, vilket ökar kostnaden och komplexiteten.

#### Teknikmognad (TRL)

									↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

#### Referensprojekt

I Sverige är värmepumpar ett av våra vanligaste uppvärmningssystem, särskilt i småhus. Värmepumpar som utnyttjar restvärme i spillvatten från hushåll används dock inte i lika stor utsträckning.

I offentliga bostadshus har flera installationer av värmepumpar genomförts de senaste åren. Vilhelmina Folkets Hus återvinner upp mot 95 % av den energi som förbrukas för varmvattenproduktion (ca 226 kWh/d) och i SKB:s fastighet Docenten i Uppsala uppskattas 90 % av energin återvinnas från spillvattnet<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <https://www.evertherm.se/referensprojekt/docenten>, besökt mars 2023



Inom VA-sektorn används tekniken vid många reningsverk för utvinning av restvärme i utgående avloppsvatten. Några anläggningar använder värmepump på utgående vatten sedan många år, till exempel för uppvärmning av byggnader lokalt på reningsverket samt för uppvärmning av rötkammare. Ett exempel är Alvesta reningsverk som tillämpat denna teknik sedan 1981. Exempel för fjärrvärme och fjärrkyla är Örebro stad, som tillämpat denna teknik sedan 1984. Vid reningsverket i Bjurholm, som hanterar avlopp för 950 anslutna hushåll, installerades en värmepump 2016 som ersättning för direktverkande el, vilket tidigare var fastighetens huvudsakliga värmekälla. Genom denna förändring minskade elförbrukningen med 75 %<sup>2</sup>.

Hammarbyverket i Stockholm har världens största värmepumpsanläggning som hämtar värme ur renat avloppsvatten från Henriksdals reningsverk. År 2021 producerade exempelvis Stockholm Exergi 924 GWh värme via värmepumpar från Henriksdals utgående avloppsvatten och hade på samma gång en elförbrukning på ca 295 GWh<sup>3</sup>. De senast installerade värmepumparna kan utvinna värmen mer effektivt, vilket innebär att temperaturen på avloppsvattnet minskar till cirka 1 °C efter att vattnet passerat förångaren. För att jämna ut dygnsvariationerna ingår även hetvattenackumulatörer i Hammarbyverkets fjärrvärmenät. I framtiden planeras även värmeåtervinning ske från rötat slam vid Henriksdals ARV. Detta ska genomföras med hjälp av värmepumpar som beräknas kunna återvinna ca 10 GWh/år.

Käppala ARV har ett projekt tillsammans med IVL och KTH som heter systemmodell värmeåtervinning uppströms Käppala ARV.

För Kolkajen i Norra Djurgårdsstaden har en utvärdering av lösningar för en resurseffektiv återföring av värme från spillvatten visat att sådana system kan vara lönsamma för fastighetsägarna men även vid en områdesspecifik spillvattenhantering (Wallin och Dalgren, 2021).

#### Projektgruppens bedömning

Värmepumpar är en välbeprövad och känd teknik som har använts i olika områden i Sverige under många år. Värmeenergin för allt avloppsvatten i hela Sverige motsvarar ca 7 TWh enligt en uppskattning gjord av projektgruppens tidigare delsyntes (Delsyntes 1c: Energi). En större andel av denna energi uppskattas kunna utvinnas idag. Värmen i avloppsvattnet finns dessutom över hela året, vilket antyder att värmepumpar bör kunna utnyttjas i ännu högre grad för en effektiv energiåtervinning från avloppsvatten än vad som görs idag. Även en värmeåtervinning med hjälp av värmepumpar nära bostadshus, offentliga byggnader m.m. från olika avloppsströmmar bör kunna utökas avsevärt, förutsatt att flödet är någorlunda jämt och konstant. Detta kan t.ex. inkludera grå- eller avloppsvatten från flerbostadshus eller stadsdelar och förstärks av slutsatsen från tidigare studier som pekade på att negativa effekter p.g.a. en temperatursänkning vid ARV är starkt begränsade eller obefintliga (Arnell et al., 2021).

<sup>2</sup> <https://www.evertherm.se/referensprojekt/bjurholm-kommun>, besökt mars 2023

<sup>3</sup> [www.stockholmexergi.se](http://www.stockholmexergi.se), besökt mars 2023



Syntes 2021-00007

## Återvinning och återanvändning av resurser från avloppsströmmar

Forskningsansatsningen om avloppsvatten

MILJÖ | NATURVÅRDSVERKET  
FORSKNING

Havs  
och Vatten  
myndigheten





### 1.3 Elturbin

<b>Beskrivning</b>								
Rörelseenergin i avloppsvatten kan, om den är tillräckligt hög, omvandlas till mekanisk energi. Denna mekaniska energi kan sedan användas för att driva en generator som genererar elektricitet. Tekniken är densamma som vid vattenkraftverk och förutsätter en viss fallhöjd för att den kinetiska energin från strömmande vatten kan nyttjas.								
<b>Produkt</b>								
Högvärdig elenergi (mycket hög exergi)								
<b>Fördelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elturbiner har använts sedan länge och placeras vid utgående avlopp. Den har lång livslängd och kräver minimalt underhåll, vilket sammantaget gör dem till en pålitlig energikälla.</li> <li>▪ Producerad el kan tillföras den existerande infrastrukturen (elnätet) och är således inte bunden till lokal användning.</li> <li>▪ Till skillnad från vattenkraft som placeras i naturliga vattenflöden, finns det inte liknande utmaningar med en elturbin i direkt i anslutning till utgående avloppsvatten då den inte påverkar vattenlevande djur.</li> </ul>								
<b>Nackdelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kräver en viss fallhöjd och flöde: ju större fallhöjd, desto mindre flöde krävs för att producera samma mängd energi. Tekniken blir sällan relevant för ARV eftersom avloppsvatten ofta behöver lyftas på reningsverk och därmed saknar fallhöjd.</li> </ul>								
<b>Teknikmognad (TRL)</b>								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Referensprojekt</b>								
<p>Eftersom det sällan föreligger de rätta förutsättningarna för installation av en elturbin i anslutning till ett reningsverk finns det inte heller många referensprojekt. Vid nya Sobacken ARV utanför Borås har dock en turbin installerats. Denna tar vara på den kraft som nivåskillnaden innebär från utloppet från Sobacken ner till recipienten Viskan vid Rydboholm. Turbinen bedöms kunna återvinna ca en tredjedel av den energi som krävs för att pumpa vattnet till reningsverket från Gässlösa (Borås Stad 2015).</p> <p>Ett mer känt exempel hur vattenkraft kan utnyttjas finns även i Buchenhofen reningsverk i Tyskland, som redan sedan 1965 producerar årligen ca 2 500 MWh. Denna energi täcker en stor del av anläggningens eget elbehov<sup>4</sup>.</p>								
<b>Projektgruppens bedömning</b>								
Tekniken med elturbiner är välbeprövad, men eftersom det krävs en viss fallhöjd och ett visst flöde för att elproduktionen från strömmande vatten ska kunna utnyttjas, bedöms denna teknik endast kunna tillämpas vid väldigt få anläggningar. Om de rätta förutsättningarna finns, kan dock tekniken vara ett bra sätt att återvinna delar av insatt								

<sup>4</sup> [www.wupperverband.se](http://www.wupperverband.se), besökt mars 2023



energi på, och därmed kompensera för den mängd pumpenergi som behövs för att pumpa orenat avloppsvatten från samhället till det specifika reningsverket. Energin ( $E$ ) som kan produceras kan skattas med hjälp av  $E = \text{nettofallhöjd} \times \text{flöde} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \text{verkningsgrad}$  (mellan 50 - 70 % för mindre turbiner) och där 9,81 motsvarar tyngdaccelerationen. Med en fallhöjd på 5 m och ett medelflöde av avloppsvatten på 0,5 m<sup>3</sup>/s kan alltså en effekt på 12 - 17 kW (ca 105 - 150 MW/år) uppnås.

## 1.4 Rötning för biogasproduktion

### Beskrivning

Rötning vid reningsverk är en process där organiskt material som finns i avloppsvattnet bryts ned av mikroorganismer under syrefria förhållanden. Produkten blir biogas som kan användas som bränsle för uppvärmning, elproduktion eller som fordonsbränsle. Rötning är en viktig del av slamhanteringen och bidrar till att minska mängden organiskt material i avloppsslammet samtidigt som biogas produceras och används som en förnybar energikälla. Biogas kan användas direkt för att producera el och värme med en gasmotor (mindre anläggningar), som fordonsbränsle, gasturbin (större anläggningar) eller överförs till ett närliggande kraftvärmeverk för el- och värmeproduktion tillsammans med andra energikällor. Verkningsgraden vid el-/värmeproduktion ligger på upp till 90 % om värmen kan återanvändas. Generellt kan sägas att en tredjedel av bränslet kan bli el och två tredjedelar blir värme vid elproduktion, även om högre utbyte av el kan åstadkommas med dagens teknik.

Förutom rötning av slam förekommer det även samrötning med andra organiska substrat såsom matavfall. Processen används också för att hantera organiskt avfall från andra källor såsom jordbruk, livsmedelsindustrin och kommunalt avfall och kallas då för samrötning. De vanligaste rötprocesserna vid svenska ARV baseras på mesofil rötning, vilket innebär ca 20 dagar hydraulisk uppehållstid vid 35 - 37 °C. Även termofil rötning förekommer och motsvarar ca 10 dagar hydraulisk uppehållstid vid 50 - 60 °C.

### Produkt

Högvärdig energi i form av biogas, som kan användas direkt eller vidareförädlas och som ger hög exergi.

### Fördelar

- Producerad biogas kan användas som bränsle (efter uppgradering), el- och värmeproduktion (kräver ingen uppgradering), eller för att driva kompressorer för luftning vid avloppsrening. Även nya områden som vätgasproduktion av biogas (metanpyrolysis) finns.
- Vid befintlig infrastruktur såsom gasnät kan en bredare användning av producerad biogas möjliggöras.
- För större ARV med en hög biogasproduktion möjliggör även förvätskning av biogasen till s.k. LBG en bredare marknad för biogas. LBG är idag starkt efterfrågat av exempelvis industri och sjöfart.
- Rötning används primärt för slamstabilisering och volymminskning och gasproduktion kan således delvis anses som en positiv sidoeffekt.





- Vid uppgradering av biogas erhålls en relativ ren delström koldioxid som kan nyttjas som råvarubas, utökad biogasproduktion (metanisering, när vätgas som produceras från överskott av el i nätet injiceras i röt-kammare för ökad metanproduktion), eller ingå i konceptet kring lagring av CO<sub>2</sub> som bidrag till negativa utsläpp.
- Långtgående rötning av slam kan minska metangasavgångar från slam som lagras och läggs på åkermark. Långtgående rötning kan således ge en positiv klimateffekt.
- Rötning av slam, under vissa premisser, framför allt avseende temperatur, uppehålls- och exponeringstid, kan på samma gång utgöra en metod för hygienisering/avdödning av patogener i slammet.

#### Nackdelar

- Biogasproduktionen varierar med slamproduktionen och då stora buffertvolymerna ofta inte finns facklas en del biogas. Detta går givetvis att åtgärda och handlar om de incitament och stöd ARV har för att optimera sitt biogassystem.
- Omfattningen av hur biogas distribueras i Sverige ser olika ut i olika delar i Sverige. Tillgången till gasnätet är direkt beroende av efterfrågan där Skåne-regionen och Stockholmsområdet är de platser där tillgången är störst.
- Föroreningar och variationer i sammansättning kan hindra en direkt användning av biogas, exempel kan vara en biogasmotor som saknar extra rening.
- En uppgradering till biogasproduktion kan kräva stora investeringar och produktion av fordonsbränsle blir därmed inte alltid lönsamt.
- En del av den producerade biogasen läcker från röt-kammare, gasdistributionssystem, reningen och uppgraderingen och p.g.a. hög klimateffekt av metan ger detta en negativ klimatpåverkan. Ett medelvärde på metanslip (förlust) för en biogasanläggning är 1 % (Yngvesson 2022). Dock kan detta minskas med intensiva läcksökningskampanjer och installation av katalytiska förbrännare.

#### Teknikmognad (TRL)

									↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

#### Referensprojekt

Idag produceras biogas framför allt vid större ARV och det finns således många referensinstallationer. Även för olika användningsområden för biogas finns flera fullskalereferenser i Sverige. En uppgradering till fordonsbränsle finns också vid flera ARV t.ex. Henriksdal, Käppala och Sjölunda. Samrötning av avloppsslam med andra substrat finns t.ex. vid Himmerfjärdsverket i Grödinge.

Termisk hydrolysis som förbehandlingsmetod för att öka biogasproduktionen installerades i fullskala vid Sundets ARV i Växjö under 2015 (Energiforsk 2017). Den ökade metanproduktionen var däremot i samma storleksordning som energiåtgången för den termiska hydrolysen. Dock erhöles en hygienisering av slammet och dess volym minskade. Däremot krävdes en högre polymertillsats i slamavvattningen.



### Projektgruppens bedömning

Projektgruppen har i en tidigare inventering bedömt det som att energiproduktion från avloppsvatten med biogasproduktion endast kan öka med ca 65 % (Delsyntes 1c: Energi) och anses därför ha begränsad potential att utgöra en signifikant del av Sveriges framtida energiförsörjning. Biogasproduktion är dock den viktigaste energiresursen för avloppsreningsverk som kan nyttjas och potentialen bör således nyttjas. Det finns även flera sätt att optimera och öka biogasproduktionen vid ARV utifrån ändringar eller optimeringar av reningsprocessen. Några förslag kan vara:

- ökad förfällning och uttag av primärslam.
- ökad samrötning vid ARV med andra substrat
- olika förbehandlings-/disintegreringsmetoder för slam inför rötning, t.ex. genom termisk hydrolys.
- optimerad rötning (god omblandning, optimal och stabil temperatur och organisk belastning, ökad TS-halt in till röt-kammaren, länge uppehållstid, flerstegsrötning, m.m.)
- anaeroba reningsystem för avloppsvatten, såsom UASB – Upflow anaerobic sludge blanket)

Även om biogasproduktion på olika sätt kan ökas, kan detta påverka resursförbrukningen i andra processer vid ARV och behöver därför beaktas. Till exempel kan tillsats av extern kolkälla behöva ökas i denitrifikationen för att kompensera för mindre tillgängligt organiskt material som letts vidare till röt-kammaren där det ska leda till en ökad biogasproduktion.

En slamstabilisering kommer behövas även i framtiden och innebär att biogasproduktionen behöver kunna nyttjas i ännu högre grad jämfört med idag.

## 1.5 Termisk slambehandling (förbränning, pyrolys, torkning)

### Beskrivning

Det finns många olika termiska slambehandlingstekniker såsom torkning, hydrotermisk förkolning (HTC, även kallat våtpyrolys), pyrolys eller förbränning. Termisk hydrolys kombinerar högtryckskokning (140 - 180 °C, 30 - 60 min, 6 - 11 bar) av slam följt av en snabb dekompression. Processen syftar främst till en disintegrering av slammet för en ökad biogasproduktion och enklare avvattning av slammet. Slamtorkning görs främst för att minska vattenhalten i slam för en enklare hantering vid en efterföljande torrpyrolys eller förbränning. En förbränning kan dock även ske utan torkning, till exempel vid fall då slammet ska samförbrännas med andra torrare substrat. Våt- och torrpyrolys kan också öka slammets torrhalt inför en förbränning, men det producerade slamkolet kan även brukas för andra applikationer.

Samtliga termiska behandlingstekniker kräver tillförsel av energi.

Nettoenergiåtervinningen från avvattnat slam är begränsad på grund av det höga vatteninnehållet i slammet. I optimerade teknikkombinationer kan dock viss energiöverskott uppstå och som därmed kan nyttjas (se 2.1).

### Produkt

Låg- till höggradig värme (låg- till medelxergi) ifall en nettoenergiproduktion uppstår.

**Fördelar**

- Flera etablerade tekniker, framför allt i andra länder.
- En återvinning eller återföring av vissa närsalter, såsom fosfor, kan underlättas medan återvinning av kväve och svavel försvåras.
- Flera mikroföroreningar som finns i slammet kan vid vissa behandlingstekniker förstöras (t.ex. pyrolys och förbränning).
- Förbränning kan i vissa fall ses mer som en metod för kvittblivning av slam än för energiåtervinning, speciellt för slam som inte kan spridas på åkermark på grund av höga föroreningsnivåer och i norra Sverige där behov av slam för lantbruk och återställning av mark är lågt.

**Nackdelar**

- Biprodukter som torkkondensat, rökgaskondensat, m.m., kräver hantering och kan öka belastningen på reningsprocessen vid ARV.
- För de flesta tekniker krävs tillförsel av högvärdig energi.
- En ökad teknisk komplexitet kan ställa högre kompetenskrav på personalen.
- Höga temperaturer, tryck och aerosoler skapar arbetsmiljöutmaningar.

**Teknikmognad (TRL)**

							↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Referensprojekt**

- Himmerfjärdsverket hade en pilotslamtork som kördes från 90-talet och gav goda erfarenheter men är idag nedlagd efter 25 år i drift.
- Pyrolys av slam har testats inom Vinnovaprojektet *Slamförädling genom pyrolys* (2014-02309). Projektet visade att bl.a. kadmium kunde avskiljas till > 90 % samtidigt som fosfor stannade kvar i biokolet. Sammantaget gav processen ett värmeenergiöverskott.
- I Sverige har pilottester med hydrotermisk karbonisering (HTC) utförts vid Margretelund ARV (Baresel et al., 2023). Tester visade att tekniken kan minska slamvolymen och TS halten ökade till ca 65 %. Det producerade slamkolet var av god kvalitet enligt det krav som finns för Revaq-gödsel. Processen kräver tillsats av högvärdig elenergi för att driftas men genererade samtidigt en nettoproduktion av värmeenergi som skulle kunna nyttjas. Hanteringen av HTC-vatten kräver vattenrening, vilket i sin tur kräver resurser i form av energi.
- Flera tester med samförbränning av slam har genomförts av Stockholm Vatten och Syvab, både vid Högdalenverket i Stockholm (torkat slam från Himmerfjärdsverket), Igelstadverket i Södertälje (avvattnat slam från Henriksdal) och vid Tekniska verken i Linköping (avvattnat rötslam). Alla projekt demonstrerade en problemfri process (Starberg et al., 1999).
- Slamförbränning i både mono- och samförbränningsanläggningar undersöktes av Bhasin et al. (2020) vid en anläggning hos Borlänge Energi. Tester visade att det finns möjligheter att använda befintliga pannor för slamförbränning, men att rening av luft och vatten behöver anpassas.
- Umeå Energi planerar en anläggning för monoförbränning av slam från norra Sverige tillsammans med kommunala VA-aktörer i regionen.



- Slamtorkning och -förbränning används redan i andra länder som t.ex. Danmark. I avsnitt 2.1 nedan ges ett exempel från Avedøre ARV nära Köpenhamn.

### Projektgruppens bedömning

I vilken utsträckning olika termiska behandlingstekniker kommer implementeras vid svenska ARV påverkas framför allt av hur slamspridning kommer att se ut i framtiden. Om ett förbud för slamspridning, eller andra krav på slammets innehåll, eller förbehandling kommer på plats, har de termiska behandlingsteknikerna flera fördelar. De kan både minska slamvolymerna som behöver hanteras, hygienisera slammet och minska problem med lukt. Genom torkade slampellets, eller slambiol, kan dessutom nya produkter skapas. Detta inkluderar bl.a. biobränsle, anläggningsmaterial eller gödsel. Sista förutsatt att produkterna innehåller en låg halt av föroreningar som resultat av den termiska och andra ingående behandlingar. Implementeringen av termiska behandlingstekniker bedöms därmed utgöra ett hållbart slamhanteringsalternativ. En implementering av termisk behandling av slam från avloppsvattenrening med huvudsyfte att producera energi framstår dock inte som relevant. En energiproduktion kan dock åstadkommas vid en resurseffektiv teknikkombination och systemintegrering.

## 2 Befintliga system

Det är möjligt att kombinera olika tekniker av de som beskrivs ovan. Värmeväxling är t.ex. vanligt vid användning av värmepumpar och beskrivs därför inte som ett eget system. Några av de termiska behandlingsteknikerna är dock beroende av varandra och utgör således ett teknisksystem.

### 2.1 Kombinationer av termisk behandling

#### Beskrivning

En monoförbränning eller torrpyrolys av slam kräver att slammets vattenhalt minskas först, vilket är ett krav för att den termiska behandlingen ska kunna genomföras. För att uppnå detta kan slammet antingen torkas eller behandlas med hydrotermisk karbonisering (HTC) eller med en kombination av dessa. Kombinationen av olika termiska behandlingstekniker gör att framför allt värmeenergi som produceras kan återvinnas och användas i andra delar av teknikkombinationen. Till exempel kan värmen som produceras vid slamförbränning, pyrolys eller HTC användas för slamtorkning.

Generellt för kommunalt avloppsslam antas ett värmevärde av ca 20 MJ/kg organisk torrsbstans (ca 5,5 kWh/kg org. TS) (Starberg et al., 1999). Med hänsyn till oorganiskt innehåll skattas värmevärde för orötat och rötat slam till 14 respektive 12 MJ/kg TS. Vid en torkning av avvattnat avloppsslam på ca 25 % TS till minst 80 % TS krävs ca 9-10 MJ/kg per producerat kg TS. Detta betyder att nettoenergiinnehållet i slammet blir < 5 MJ/kg TS (Starberg et al., 1999). För vissa pyrolys och förbränningstekniker finns det krav på högre än 95 % TS, vilket minskar nettoenergin ytterligare. Teknikutvecklingen med en effektivare energiåtervinning har resulterat i lägre energibehov vid bl.a. slamtorkning (se t.ex. referensprojekt nedan). Även om den producerade produkten från kombinationer av termisk behandling, kan ha ett högt energiinnehåll, behöver inte produkten alltid



användas som bränsle, utan kan även brukas i olika markanvändningsområden (t.ex. gödsel, jordförbättring, gröna tak).
<b>Produkt</b>
Fast bränsle med högt energiinnehåll (torkat slam eller slamkol)
<b>Fördelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bättre återvinnings- och användningsmöjligheter för producerad värmeenergi.</li><li>▪ Bättre energieffektivitet än vid separata processer.</li><li>▪ Energivärdet av slam kan ökas.</li><li>▪ Återvinning eller återföring av vissa närsalter kan underlättas med försvåras för andra.</li><li>▪ Flera mikroföroreningar som finns i slammet kan potentiellt destrueras genom processer såsom pyrolys och förbränning.</li></ul>
<b>Nackdelar</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Biprodukter som torkkondensat, rökgaskondensat, m.m. behöver hantering och kan öka belastningen på reningsprocessen vid ARV.</li><li>▪ En ökad teknisk komplexitet ställer högre kompetenskrav på personalen.</li><li>▪ Höga temperaturer, tryck och aerosoler skapar arbetsmiljöutmaningar.</li><li>▪ Komplexiteten i slambehandlingen ökar vid teknikkombinationer.</li></ul>
<b>Referensprojekt</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Vid Avedøre ARV (270 000 pe) nära Köpenhamn, Danmark, behandlas eget och externt slam via torkning och förbränning. Energin som kan nyttjas i form av värme till rötningen uppgår till ca 0,5 MWh/ton TS<sup>5</sup>. Energin som behövs för den termiska slambehandlingen (4500 MWh/år) kommer främst från naturgas men även producerat biogas från ARV:s slamrötning (ca 26 750 MWh/år) skulle i princip kunna användas.</li><li>▪ Vid Fårevejle ARV finns en teknikkombination av slamtorkning och pyrolys som årligen hanterar ca 4000 ton avvattnat slam. Värmen som produceras i pyrolysen återvinns och används för slamtorkning, vilket resulterar i en nettoenergiproduktion på ca 210 MWh/år<sup>6</sup>.</li><li>▪ Fyra kommunala VA-bolag har gått samman för att skapa Testbädd Ellinge, vilket är en testbädd för slamhantering med torkning och pyrolys. Syftet är att sprida det producerade biokolet på en åkermark, även om testbädden uppskattas producera ett visst överskott av energi<sup>7</sup>.</li><li>▪ I Tyskland har slamförbränning varit en etablerad teknik i flera regioner under många år. Där har samförbränning av slam nästan helt ersatts av monoförbränning p.g.a. nya krav på fosforåtervinning från slam. Många anläggningar använder värmeenergin från förbränningen för slamtorkning. Resterande överskottsvärme och producerad el från värmekraftverk tillförs därefter fjärrvärme- respektive elnätet som finns i stora delar av landet<sup>8</sup>.</li></ul>

<sup>5</sup> Personlig kommunikation Lars Krogsgaard Nielsen, BIOFOS A/S Avedøre, april 2023

<sup>6</sup> [www.aquagreen.dk](http://www.aquagreen.dk), besökt mars 2023.

<sup>7</sup> <https://www.swedenwaterresearch.se/projekt/testbadd-ellinge/om-projektet/>, besökt mars 2023.

<sup>8</sup> [www.umweltwirtschaft.de](http://www.umweltwirtschaft.de), besökt mars 2023.

**Projektgruppens bedömning**

Även om vissa av dessa teknikkombinationer kommer vara aktuella för slamhantering i Sverige utifrån aspekter såsom volymminskning, destruktion av mikroföroreningar, så kommer energiåtervinning generellt inte kunna ge en avsevärd nettoenergiproduktion. Detta beror framför allt på grund av det höga vatteninnehållet i slammet från kommunala ARV. Även om viss producerad energi såsom värme kan nyttjas, så behövs en insats av andra energiformer. Exempel här är när el används vid slamtorkning, eller andra bränslen för att genomföra samförbränning. Tekniker kan skapa en positiv energibalans och utgöra en del av ett större upplägg som utnyttjar eller tar vara på den biokemiska energin i slammet för en hållbar slamhantering. Detta kräver ofta en smart lokal systemintegrering och beror på teknikkombinationen.

## 3 Relevanta innovativa tekniker/system

### 3.1 Bränsleceller

**Beskrivning**

Avloppsrening med mikrobiella bränsleceller (MFC) baseras på samma mikroorganismer som de mikroorganismer som nyttjas i avloppsvattenrening. Dessa organismer utför därför liknande kemiska reaktioner i bränslecellen som i avloppsvattnet. Skillnaden mellan MFC och vanlig avloppsvattenrening är dock att två delreaktioner såsom reducering av syre respektive oxidation av organiska ämnen, sker i två separata kammare separerade med ett jonselektivt membran. Reaktionerna sker på elektroder placerade i varje kammare och redoxpotentialen av reaktionen återvinns delvis i form av elström som går mellan elektroderna. Eftersom den kemiska reaktionen är densamma är även den genererade energin densamma. Det kan förenklat sägas att en del av den energi som bakterier skulle använda för sin tillväxt och för värmeproduktion återvinns i form av el.

**Produkt**

Högvärdig elenergi (mycket hög exergi)

**Fördelar**

- Rening av avloppsvatten samtidigt som högvärdig energi produceras.
- MFC-enheter kan vara mycket flexibla och kan anpassas till en mängd olika situationer. De kan användas för att producera elektricitet från en mängd olika substrat inklusive avloppsvatten, slam och organiskt avfall.

**Nackdelar**

- Ekonomiska och driftstekniska aspekter har än så länge hindrat en bred implementering.
- MFCs har en relativt låg effektivitet (< 35 Wh/m<sup>3</sup> i pilottester).
- Produktionen av MFC-enheter kan vara dyr och komplicerad, vilket påverkar teknologins ekonomiska lönsamhet; upp till 1000 ggr dyrare än konventionell rening enligt Tsekouras et al. (2022).
- MFC-enheter kräver en noggrann övervakning och underhåll för att fungera optimalt och det är därmed framför allt stabiliteten med driften som är utmanande. MFC-enheter kan vara känsliga för olika faktorer som kan variera i



ett avloppsvatten, inklusive pH, temperatur och näringsämnesnivåer i avloppsvattnet för att nämna några exempel.								
<b>Teknikmognad (TRL)</b>								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Referensprojekt</b>								
<p>Projektgruppen känner inte till några referensprojekt avseende bränsleceller, även om mycket forskning pågår inom området (Tsekouras et al., 2022). Lindvall (2016) identifierade några få pilotstudier av MFC som demonstrerats på volymer upp till 250 l avloppsvatten. Resultaten visade att en viss rening av avloppsvatten åstadkoms och en nettoenergiproduktion på maximalt 35 Wh/m<sup>3</sup> eller 0,004 kWh/kg COD som bryts ned rapporterades (Tsekouras et al., 2022). Detta kan jämföras med ca 0,35 m<sup>3</sup> metan som produceras från 1 kg COD vid biogasproduktion, vilket motsvarar 3,5 kWh/kg COD.</p>								
<b>Projektgruppens bedömning</b>								
<p>Den mest kostnadseffektiva grundkonfigurationen av MFC för avloppsrening som har viss potential för en bredare användning är membranlös och fri från kostsamma katalysatorer (Lindvall 2016). Det återstår dock mycket utvecklingsarbete innan MFC-tekniken kan ge en långsiktig driftsäkerhet och bli ekonomiskt hållbart för storskalig avloppsrening.</p>								

### 3.2 Elektrolys

<b>Beskrivning</b>
<p>Elektrolys är en process som består av två elektroder som finns placerade i en lösning och där lösningen (elektrolyten) tillsätts ström. Eftersom lösningen ska driva ström består den vanligen av en saltlösning. Elektrolys har traditionellt många användningsområden där anrikning av metaller tillhör de mer kända. Elektrodena i elektrolyten består av i) en anod och ii) en katod och vid tillförsel av energi kan ämnen oxideras vid anoden, medan det sker en reduktion vid katoden. Elektrolys har demonstrerats i avloppsvatten och för ammoniumoxidation, där kväve avgår som kvävgas under reaktionen samtidigt som vätgas genereras. Elektrolysen sker i detta fall i en alkalisk lösning (elektrolyt) och mer specifikt sker den direkta oxidationen av ammonium vid anoden i den elektrokemiska reaktorn där kvävgas genereras, medan vätgas produceras vid cellens katod (se t.ex. Bonnin et al, 2008).</p> <p>Processen med elektrolys gör det möjligt att utvinna vätgas från olika typer av avloppsvatten med höga ammoniumhalter (reaktion 1-3 ovan) såsom rejektvatten från slamavvattning. Processen förbrukar således elenergi men producerar energi i form av vätgas. I jämförelse med energiförbrukning för vätgasproduktion genom traditionell elektrolys av vatten krävs mycket mindre energi vid elektrolysning av ammoniumrika</p>



lösningar. Enligt beräkningar från pågående projekt<sup>9</sup> uppgår elenergi som behövs för processen till ca 2,4 kWh/kg borttagen ammonium samtidigt som ca 7 kWh/kg borttagen ammonium produceras i form av vätgas. Detta ger en nettoenergiproduktion på ca 4,6 kWh/kg borttagen ammonium.

#### Produkt

Högvärdig energi/vätgas (hög exergi)

#### Fördelar

- Vid processen renas avloppsvattnet från ammoniumkväve, vilket även innebär en besparing av energi och utsläpp av växthusgaser, som skulle annars uppstå vid biologisk rejektivattenrening.
- Lättare att starta upp och stoppa än biologisk rening.
- Elektrolys av avloppsvatten som innehåller ammonium kräver mindre energi än elektrolys av vatten.

#### Nackdelar

- Elektroder kan vara dyra att producera.
- Kväve avgår till atmosfären

#### Teknikmognad (TRL)



1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

#### Referensprojekt

Den elektrokemiska nedbrytningen av ammonium visar god potential och kräver mindre energitillförsel jämfört med elektrolys av vatten, som är ett annat sätt att generera vätgas på. KTH och IVL har ett pågående Formasprojekt som löper över projektperioden 2023-05-01 till 2024-11-30. Projektet heter Grön produktion av vätgas från avloppsvatten - en ny väg för att omvandla avfall till energi. Syftet med detta projekt är att förbättra elektrodprestanda och att arbeta med att skala upp processen med elektrolys av ammoniumrikt avloppsvatten där målet är att använda flera kolfiberelektroder. Även andra material för elektroder som kan ge önskade egenskaper såsom en stor yta kommer att utvärderas i en designad pilot-skalreaktor. En pilot där bl.a. kolfiberbaserade elektroder har utvecklats och utvärderas finns vid IVL/KTHs- testanläggning.

#### Projektgruppens bedömning

Tekniken kan ha viss potential, men en teknikutveckling behövs för att kunna bedöma potentialen för användning vid svenska ARV. Idag handlar teknikutvecklingen med elektrolys som process framför allt om två utmaningar. Den första är att utveckla elektroder som baseras på andra material än platina (Pt), som både är dyrt och av begränsad tillgång. Den andra utmaningen handlar om att elektroderna ska utformas på ett sätt så att de har en stor tillgänglig yta där den kemiska reaktionen kan ske.

<sup>9</sup> Formasprojekt 2022-02040 " Grön produktion av vätgas från avloppsvatten - en ny väg för att omvandla avfall till energi"





### 3.3 Salinity gradient power (Blå energi)

<b>Beskrivning</b>								
<p>Blå energi kallas även saltkraft och utvinns genom en saltgradient mellan två olika vatten. Det finns i huvudsak två tekniker och båda baseras på membran. Pressure Retarded Osmosis (PRO) använder ett membran där en koncentrerad saltlösning såsom havsvatten separeras från sötvatten. När sötvattnet strömmar genom ett semipermeabelt membran mot havsvatten ökar trycket i havsvattenkammaren. Trycket driver en turbin och el genereras. En annan liknande teknik är den genom Reversed Electro Dialysis (RED) där transport av (salt)joner sker genom ett membran. RED består av en stapel av alternerande katod- och anodutbytande membran. Facken mellan membranerna fylls växelvis med salthaltigt vatten respektive sötvatten. Salinitetsgradientens skillnad är den drivande kraften vid transport av joner som resulterar i en elektrisk potential, som sedan omvandlas till elektricitet.</p> <p>Energiutvinning kan ske utifrån olika typer av vatten med skilda salthalter, exempel kan vara älvvatten eller avloppsvatten som rinner ut i salta havet. Även vid avsaltningsanläggningar kan det finnas lämpliga strömmar. Potentialen för blå energi från samtliga tänkbara källor har globalt bedömts uppgå till cirka 650 GW (Irena 2014). Energin som frigörs från 1 m<sup>3</sup> sötvatten som blandas med saltvatten i havet är jämförbar med den energin som frigörs av samma m<sup>3</sup> vatten som faller över en höjd av 260 m.</p>								
<b>Produkt</b>								
Elektricitet								
<b>Fördelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blå energi är helt ren, driften är miljövänlig och kan utnyttjas kontinuerligt.</li> </ul>								
<b>Nackdelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blå energi är en av de minst utforskade energikällorna i Sverige.</li> <li>▪ Endast tillämplig för kustområden med hög salthalt.</li> <li>▪ Omogen teknik, kräver stora membranstorheter, som i sin tur kräver höga investeringar och potentiellt även miljöpåverkan.</li> <li>▪ Höga kostnader p.g.a. behov för avancerade membran.</li> </ul>								
<b>Teknikmognad (TRL)</b>								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Referensprojekt</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Under 2009 tog Statkraft i drift den första PRO-anläggningen på 10 kW som baseras på 2000 m<sup>2</sup> plattmembran i Hurum Norge. Några år senare (2013) bestämde sig Statkraft dock för att avsluta satsningen på tekniken (Irena 2014).</li> <li>▪ 2005 byggdes en 5 kW RED-anläggning i Frisa, Nederländerna, som efterföljdes av en 50 kW anläggning vid Afsluitdijk, Nederländerna (Irena 2014).</li> </ul>								



- En RED-pilot har installerats och drivs av universitetet i Palermo sedan 2014 och genererar elektricitet från en saltlösning från en avsaltningsanläggning (LIFE REAPower)<sup>10</sup>.

#### Projektgruppens bedömning

Tekniken kan ha viss kapacitet men en teknikutveckling behövs för att kunna bedöma potentialen för användning vid svenska ARV. Storskalig produktion av billiga membran är en av nyckelfaktorerna för en kostnadseffektiv uppskalning. Det är framför allt vatten vid västkusten, där salthalten i havet ligger på 20 - 34 g/kg, som kan jämföras med vatten från Atlanten. På dessa platser kan det vara effektivt att utvinna blå energi.

Under 2022 har Umeå och Lunds universitet fått 5 miljoner kronor av Energimyndigheten för att lokalisera platser i Sverige med potential för blå energi. De första grova beräkningarna indikerar en potential även vid ARV, vilket skulle kunna täcka en stor andel av anläggningens eget energibehov.

<sup>10</sup> <https://www.reapower.eu/index.html> besökt mars 2023



## 4 Referenser

- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Baresel, C., Axegård, P., Lazic, A., Bornold, N., Yang, J.-J., Malovanyy, A. 2023. Framtidens slamhantering vid Roslagsvatten - Behandling av kommunalt örötat slam med HTC-teknik (OxyPower HTC™) och rening av HTC-vatten med SBR och MBBR. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2460.
- Bhasin, A., Almemark, M., Arnberg, R., Ekengren, Ö., Johansson, K., Tjus, K. 2020. Framtida slamhantering – Förbränning kombinerat med fosforåtervinning ur askan. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B2401.
- Bonnin, E.P., E.J. Biddinger, Botte, G.G. 2008. Effect of catalyst on electrolysis of ammonia effluents. Journal of Power Sources, 2008. 182(1): p. 284-290.
- Borås Stad 2015. Nytt Kraftvärmeverk och Avloppsreningsverk på Sobacken. Beslutsförslag, Diarienummer: 2008/KS0187 107.
- Energiforsk 2017. Termisk hydrolys vid sundets biogasanläggning - Utvärdering av förbehandling av rötslam i Växjö. Rapport 2017:367.
- Fortkamp, U., Junestedt, C., Baresel, C., Westling, K., Ek, M. 2013. Increased total efficiency in sewage treatment-ITEST - Evaluation report. B2149, IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Hurlov, A. 2019. Värmeåtervinning med spillvatten i flerbostadshus - En fallstudie av spillvärmens effektivitet för uppvärmning av tappvarmvatten i ett flerbostadshus. Examensarbete, Högskolan i Gävle.
- Irena 2014. Salinity gradient energy - technology brief. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Kjellén, B.J., Andersson, A.-C. 2002. Energihandbok för avloppsreningsverk. VA-forsk rapport 2002-2.
- Lindvall, S. 2016. Avloppsrening med mikrobiella bränsleceller - En litteraturstudie om den senaste forskningens framsteg. Examensarbete i Energi och miljö, grundnivå, KTH.
- Rogstrand, G., Olsson, H., Andersson, A.C., Johansson, N., Edström, M. 2012. Process för ökad biogasproduktion och energieffektiv hygienisering av slam. SGC Rapport 2012:269.
- Starberg, K., Haglund, J.E., Hultgren, J. 1999. Slamförbränning. VA-forsk rapport 1999-11.
- Tsekouras, G.J., Deligianni, P.M., Kanellos, F.D., Kontargyri, V.T., Kontaxis, P.A., Manousakis, N.M., Elias, C.N. 2022. Microbial Fuel Cell for Wastewater Treatment as Power Plant in Smart Grids: Utopia or Reality? Frontiers in Energy Research 10.
- Wallin, J., Dalgren, J. 2021. Utvärdering av lösningar för en resurseffektiv återföring av värme från spillvatten - Exempel från detaljplan Kolkajen i Norra Djurgårdsstaden. Stockholm Stad.
- Yngvesson, J. 2022. Sammanställning av data från metanmätningar enligt egenkontroll metanemissioner åren 2016 – 2018 – Samt jämförelse med tidigare år. Avfall Sverige, Rapport 2022:21.



## Delsyntes 2d: ANDRA RESURSER

### Tekniker och system samt referensprojekt

I denna delsyntes presenteras tillgängliga tekniker för återvinning och återbruk av andra resurser såsom sand, metaller och plaster från avloppsvatten. Innehållet är en fortsättning och vidareutveckling av en tidigare syntes, delsyntes 1 (Delsyntes 1d: Andra resurser). Med återvinning och användning menas att andra resurser återanvänds för ett nytt syfte, till exempel när metaller utvinns från avloppsströmmar och ingår som nytt material i en annan produkt. Den primära målgruppen för den sammanfattade informationen är svenska myndigheter och kommuner. Föreliggande delsyntes är projektgruppens reviderade slutversion och är baserad på granskning och inspel från både experter inom området, berörda myndigheter och den breda referensgruppen.

Inledningsvis presenteras tillgängliga reningstekniker, följt av befintliga system för återbruk av olika resurser. Avsnitten är kortfattat presenterade och beskrivs avseende för- och nackdelar. Tillskillnad från delsyntes 1, som beskrev tillgång och behov av resurser, handlar denna syntes om att bedöma mognadsgrad av olika tekniker. Den senare är bedömd enligt teknisk mognadsgrad, även förkortat TRL (technology readiness level) och visas översiktligt i figuren nedan. Där visas att TRL kan anges efter en skala från 1 till 9, där 1 till 4 på skalan i grova drag motsvarar forskning och utveckling av tekniken, medan siffran 4 till 6 innebär att tekniken är mogen för att demonstreras. De högre siffrorna från 7 till 8, kan betraktas som en mognadsgrad nära fullskalig implementering och vid 9 finns applikationer där tekniken är i fullskalig drift. När en teknik bedöms med TRL-nivå 9 betyder inte detta att tekniken är fulländad. Denna nivå innebär att tekniken är testad för drift och att den har utvärderats och använts i större skala. Det kan däremot fortfarande finnas behov för utveckling och optimering. I respektive avsnitt här nedan presenterade tekniker representera olika teknikmognad, vilket beror på att flera olika tekniker eller processer befinner sig i olika utvecklingsstatus. I dessa fall anges flera TRL-nivåer.

TRL

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Forskning	Tillämpad forskning	Teknikdemonstration			Tekniskt system, kvalificering och drift			
Teknikutveckling			Tekniskt system, utveckling					

Utöver att ange teknikernas TRL, har projektgruppen också gjort en bedömning av teknikernas/systemens potential att ingå i Sveriges framtida hantering av avloppsströmmar med återvinning och regenerering av andra resurser i fokus. Slutligen anges också tillgängliga referensprojekt. Det är framför allt erfarenheter från Sverige som anges för respektive teknik/system.

**Innehåll**

1	Befintliga tekniker för återvinning av andra resurser från avloppsvatten .....	2
1.1	Sandtvätt för sandåtervinning .....	2
1.2	Filtrering som teknik för återvinning av cellulosa.....	3
1.3	Utvinning av metaller från slamaska.....	4
1.4	Separationstekniker för återvinning av koagulanter från slam.....	5
1.5	Biologisk hydrolys för produktion av flyktiga fettsyror (VFA).....	6
1.6	Separation för utvinning av biopolymerer .....	8
1.7	Termisk behandling för slamkolproduktion .....	9
2	Relevanta innovativa tekniker/system.....	10
3	Referenser.....	11

# 1 Befintliga tekniker för återvinning av andra resurser från avloppsvatten

## 1.1 Sandtvätt för sandåtervinning

Beskrivning								
Sand från sandfång och även grovrens kan återvinnas. Eftersom denna sand kan vara av mycket varierande kvalitet och är mer eller mindre kontaminerad med framför allt tyngre partiklar och skräp, behövs den dock behandlas. Behandlingen består vanligtvis av en sandtvätt. Beroende på hur mycket vatten och föroreningar som sandprodukten innehåller kan det finnas olika användningsområden där bygg- och anläggningsprojekt, eller möjligen sandning vintertid är några exempel.								
Produkt								
Sand (av olika kvalitet) som exempelvis kan ingå i konstruktionsmaterial.								
Fördelar								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relativ enkel teknik.</li> <li>▪ Genom sandtvätt kan sand återvinnas, vilket minskar mängden sand som behöver destrueras.</li> </ul>								
Nackdelar								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sanden kan vara kraftigt förorenad då även andra föroreningar såsom plast och partiklar ansamlas i sanden.</li> <li>▪ Tvättvatten som nyttjas kan innehålla föroreningar som kräver vidare behandling innan utsläpp till recipient, till exempel genom att vattnet leds till inkommande vatten på reningsverket.</li> </ul>								
Teknikmognad (TRL)								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Referensprojekt								
Generellt har de flesta avloppsreningsverk krav att sand från sandfång i första hand skall behandlas så att den kan återvinnas. Sand som inte kan användas för annat ändamål skall bortskaffas för omhändertagande genom deponering.								

**Projektgruppens bedömning**

Med tanke på att uttaget av den ändliga resursen naturgrus/-sand kan minskas genom en återvinning av sand från avloppsreningsverk bedömer projektgruppen att det finns ett tydligt incitament att implementera tekniken. Ytterligare miljöfördelar uppstår då restfraktionen som behöver deponeras eller destrueras kan minskas. Återvinningen bör dock ställas mot både föroreningsgrad, mängden sand som kan avskiljas samt insatser i form av vatten och energi. Sandåtervinning kan ske vid befintliga återvinningsanläggningar men en direkt återanvändning av sandfilter vid avloppsreningsverk är inte aktuellt.

**1.2 Filtrering som teknik för återvinning av cellulosa****Beskrivning**

Den tidigare inventeringen av resurser i avloppsvatten (Delsyntes 1d: Andra resurser) visade att en betydande del av det organiska materialet som kommer till avloppsreningsverk utgörs av cellulosa. Cellulosa tillförs reningsverket framför allt genom användandet av toalettpapper. Olika filtreringstekniker finns för att separera och återvinna cellulosa:

- **Finmaskig silning** Genom att förbehandla orenat avloppsvattnet med en sil mindre än 0,35 mm kan en cellulosafiber återvinnas (Ruiken et al., 2013).
- **Bandfilter**, kan ersätta den traditionella försedimenteringen. Bandfilter är en dynamisk separation som kan filtrera ut större delar av fasta ämnen så att cellulosafiber separeras (Alskaf et al., 2022).

**Produkt**

Cellulosamassa som kan användas för murbruk, pappersprodukter, bindemedel eller förstärkningsmedel för byggnadsmaterial.

**Fördelar**

- Filtrering motsvarar en enkel teknik som delvis redan finns vid ordinarie reningssteg.
- Med en mer långtgående filtrering/partikelavskiljning än vad som vanligtvis förekommer på kommunala reningsverk, kan belastningen på efterföljande reningsprocesser minskas. Detta kan i sin tur leda till resursbesparingar i andra reningssteg (Ruiken et al., 2013).

**Nackdelar**

- Renheten på den återvunna cellulosablandningen varierar och en efterbehandling behövs.
- Tillgänglig mängd cellulosa som potentiellt kan utvinnas är inte studerat.
- Det finns kunskapsluckor kring möjligheter till avvattning.

**Teknikmognad (TRL)**

Silning bedöms vara den teknik med högst mognadsgrad och majoriteten av teknikerna har endast testats i pilotskala.



1

2

3

4

5

6

7

8

9

**Referensprojekt**

Enligt projektgruppens kännedom finns det inga relevanta referensprojekt i Sverige. Tekniken med finmaskig silning har dock studerats vid Blaricum avloppsreningsverk i Nederländerna, där borttagning av cellulosa från inflödet med finmaskiga silar undersöktes (Ruiken et al., 2013). Projektet indikerade att cellulosa kunde återvinnas och



att energiförbrukningen vid anläggningen minskade vid efterföljande rening. Cellulosablandningen kunde sedan även användas i rötningen för ökad biogasproduktion och motsvarar i detta exempel ingen återvunnen cellulosa. Denna typ av filtrering har även testats i Norge (Alskaf et al., 2022). Bandfiltertekniken har testats vid två avloppsreningsverk i Italien, Falconara Marittima och Carbonera (Palmieri et al., 2019). I pilotprojekten användes först en grovrening, där större material separerades från vattenströmmen. Därefter skickades vattnet till bandfiltret som producerade cellulosaslam. Pilotprojektet visade att cellulosautvinningen motsvarade mellan 11 – 74 % av den inkommande mängden.

#### Projektgruppens bedömning

Även om en stor del av cellulosa visar potential för återvinning, enligt de pilotprojekt som projektgruppen har tagit del av, är det gruppens bedömning att en resurseffektiv återvinning av en lämplig cellulosaström från avloppsvatten ännu inte är demonstrerad. Olika tekniker som beskrivs kan dock användas för en ökad avskiljning av fasta föroreningar i inkommande avloppsvatten. Cellulosa som i så fall kan avskiljas i högre grad kan då exempelvis direkt tillföras biogasproduktion för en ökad energiutvinning.

### 1.3 Utvinning av metaller från slamaska

<b>Beskrivning</b>
Kommunalt avloppsvatten innehåller flera metaller men befintliga koncentrationer är väldigt låga och innebär att metaller inte återfinns i några stora mängder på avloppsreningsverk. En återvinning av metaller finns därför främst att hitta i processer för industriella avloppsvatten och där t.ex. olika typer av membrantekniker utnyttjas (Staszak and Wieszczycka, 2023). För att underlätta och förenkla metallåtervinning från kommunalt avloppsvatten är det fördelaktigt att i stället återvinna metaller från en annan fraktion, där koncentrationen av metaller är högre jämfört med den som återfinns i vattenfasen. Vid förbränning av kommunalt avloppsslam från avloppsreningsverk erhålls det aska, antingen bottenaska från förbränningen, eller flygaska från rökgaserna (Carling et al., 2007). Båda fraktionerna innehåller metaller. Denna aska kan användas som råvara för metallurgiska raffinaderier men den komplexa blandningen av metaller tillsammans med de låga koncentrationerna gör återvinning mycket utmanande ur tekniskt och ekonomiskt perspektiv (Pikaar et al., 2022).
<b>Produkt</b>
Metallhaltig aska som råvara.
<b>Fördelar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pyro- och hydrometallurgiska processer som redan används kan användas för utvinning av metaller ur slamaska.</li> <li>▪ Kvarvarande slamaska efter metallutvinning har lägre halter av metaller och efter förbränning kan askan exempelvis ingå i konstruktionsmaterial<sup>1</sup>.</li> </ul>
<b>Nackdelar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Komplex sammansättning av olika metalltyper.</li> <li>▪ Små koncentrationer av olika typer av metaller.</li> <li>▪ Utvinningen av metaller är utmanande både tekniskt och ekonomiskt.</li> <li>▪ Utvinning av metaller kan stå i konkurrens med utvinning av t.ex. fosfor (Luyckx and Van Caneghem, 2021).</li> </ul>

<sup>1</sup> [https://www.recyclingnet.se/article/view/769072/utvinner\\_zink\\_ur\\_flygaska?rel=related](https://www.recyclingnet.se/article/view/769072/utvinner_zink_ur_flygaska?rel=related) besökt april 2023



<b>Teknikmognad (TRL)</b>								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Referensprojekt</b>								
Inga referensprojekt gällande återvinning av metaller från avloppsslam vad vi känner till.								
<b>Projektgruppens bedömning</b>								
Eftersom metaller förekommer vid låga halter i kommunalt avloppsvatten, är det mer aktuellt att en återvinning av dem utgår från en annan fraktion än från vattenfasen. Vid en eventuell framtida förbränning av avloppsslam, eller andra termiska behandlingstekniker, kan en mer koncentrerad fraktion bildas där en metallutvinning eller -återanvändning av hela fraktionen kan vara aktuell.								

## 1.4 Separationstekniker för återvinning av koagulanter från slam

<b>Beskrivning</b>								
Koagulanter i form av järn- eller aluminiumsalter tillsätts i reningsprocessen på dricksvattenverk för att koagulera organiska ämnen och på avloppsreningsverk för att fälla ut fosfor till slamfasen och/eller förbättra partikelavskiljningen. För återvinning av koagulanterna från dricksvattenverksslam kan man lösa upp slammet i syra, filtrera bort det organiska innehållet och återanvända metallerna på nytt. Tekniker för att återvinna dessa koagulanter från slammet på vattenverk beskrivs i Evuti och Lawal (2011) och Keeley et al. (2014) och 70 - 90 % av aluminiumbaserade koagulerter har påvisats kunna återvinnas vid ett pH omkring 1,0-3,0. Kemsammet från ett avloppsreningsverk innehåller dock, förutom koagulanterna, även metallfosfater som också löses upp vid låga pH-värden. Där behöver fosfaterna separeras från metallerna för att koagulanterna ska kunna återvinnas. Med fosforåtervinningstekniken Ash2Phos av EasyMining, där slamaska löses upp med syra, blir järnklorid en mellanprodukt som kan användas som koagulant.								
<b>Produkt</b>								
Koagulanter att använda vid fällning.								
<b>Fördelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ger en återvinning och användning av koagulerter.</li> <li>▪ Utlösning med syra eller med en bas, genom en så kallad alkalisering, är kostnadseffektivt vid jämförelse med andra metoder.</li> </ul>								
<b>Nackdelar</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Det kan finnas stora mängder organiskt material i återvunna koagulerter.</li> <li>▪ Många tekniker är inte selektiva och även andra icke önskade ämnen "återvinnas".</li> <li>▪ Hög resursförbrukning i form av kemikalier och energi.</li> <li>▪ Fouling/igensättningsproblem för membranfiltrering och jonbytesteknik.</li> <li>▪ Restströmmar kan uppstå som behöver ytterligare behandling.</li> </ul>								
<b>Teknikmognad (TRL)</b>								
↓								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Referensprojekt</b>								
Det har redan genomförts en del projekt i Sverige och utlandet för att utvinna koagulerter ur vattenverksslam. Nedan finns en lista på exempel:								





- **Processlösning ReAl** för återvinning av fällningskemikalier från slam med hjälp av membranfiltrering. ReAl-processen har testats vid dricksvattenverk i Sverige (Ulmert et al., 2006). Dock vet inte projektgruppen om det finns någon fullskaleimplementering i Sverige. En tidigare utredning har pekat på att detta beror på olika problem och att kostnaderna blivit för höga<sup>2</sup>.
- **Utlösning med syra har testats i pilot- och fullskala** på i Durham, North Carolina (Evuti and Lawal, 2011).
- **RE:source** projektet "Resurseffektiv metod för omhändertagande av kemslam<sup>3</sup>" har undersökt torkning och sur hydrolys av avvattnat slam för återvinning av fällningskemikalier. Tre olika kemslam från dricksvattenverk och pappersbruk undersöktes med goda resultat.
- **Kemira Kemwater** i Helsingborg har kört fullskaleförsök med termisk hydrolys av slam för återvinning av fällningskemikalier (Ek and Sundqvist, 1998).

För avloppsslam finns **Ash2Phos** från EasyMining där järnklorid är en mellanprodukt som kan användas som koagulant. Ash2Phos har en pilotanläggning i Uppsala och en i Helsingborg. En fullskaleanläggning i Helsingborg är även planerad men ännu inte utbyggd.<sup>4</sup>

#### Projektgruppens bedömning

Flera separationstekniker har testats framgångsrikt för vattenverkslam. Det är dock projektgruppens bedömning att det inte finns lämpliga tekniker, som på ett resurseffektivt sätt, kan återvinna koagulanter från den mer komplexa slammatrisen som återfinns vid kommunala avloppsreningsverk.

## 1.5 Biologisk hydrolys för produktion av flyktiga fettsyror (VFA - Volatile Fatty Acids)

### Beskrivning

Flyktiga fettsyror kan produceras genom biologisk hydrolys av slam eller andra organiska substrat. Flyktiga fettsyror är en mellanprodukt från rötningsprocessen och kan utvinnas genom att rötningsprocessen anpassas för detta. För att uppnå en fettsyreproduktion i processen behöver metanbildande bakterier separeras från processen. En vanlig strategi för att flytta produktionen av biogas till att övergå till produktion av fettsyror är den genom en pH-justering. Antingen hålls pH surt (<6) eller basiskt (>10) för att hindra metanbildning. Fettsyrorna kan sedan delvis direkt användas som kolkälla i avloppsreningen, men de kan även processas vidare för produktion av t.ex. bioplaster eller bulkkemikalier, så kallade gröna kemikalier.

### Produkt

Olika fettsyror/kemikalier

### Fördelar

- Bildningen av fettsyror är redan en del av slamrötningsprocessen och behöver endast lyftas ut som en egen optimerad produktionsprocess.

<sup>2</sup> Sweco 30028245, 2022, [https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2023/01/Rapport\\_utredning-hantering-vattenverksslam\\_220518.pdf](https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2023/01/Rapport_utredning-hantering-vattenverksslam_220518.pdf)

<sup>3</sup> <https://resource-sip.se/projekt/resurseffektiv-metod-for-omhandertagande-av-kemslam> besökt maj 2023

<sup>4</sup> [https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP\\_nutrient-recovery\\_tech\\_catalogue.pdf](https://www.phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-NNP-DPP_nutrient-recovery_tech_catalogue.pdf) hämtad april 2023



- Producerade fettsyror kan ofta användas direkt som kolkälla i reningsprocessen utan vidare rening.

#### Nackdelar

- Under vissa förhållanden krävs det en pH-justering för fettsyreproduktion.
- Risk för bildning av svavelväte som behöver kontrolleras, bl.a. genom pH-justering.
- Om fettsyror produceras från organiskt material som ska användas för biogasproduktion, kan eventuell biogasproduktion minska.
- Vid hydrolysen löses även en del av kväve och fosfor ut från det organiska materialet. Detta är en oönskad bieffekt om hydrolysaten ska användas som kolkälla.

#### Teknikmognad (TRL)

Teknikmognad varierar för de olika undersökta tekniklösningarna.

			↓	↓	↓	↓		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

#### Referensprojekt

- IVL och KTH har genomfört pilotförsök vid Hammarby Sjöstadsverk inom projektet CarbonNextGen (inom innovationsprogram RE:Source från Energimyndigheten) och EnVFAPro (Enhancement of Volatile Fatty Acid Production From Dairy Wastewater) som bl.a. visade att en fettsyraproduktion kan ske, och att en användning av producerad fettsyra som kolkälla vid avloppsreningsverk kan vara miljövänlig och ekonomiskt genomförbar. Delar av arbetet genomfördes inom ett doktorandprojekt (Owusu-Agyeman, 2022).
- Även vid SLU har det genomförts en del studier med fettsyraproduktion i kontinuerliga försök, både med avloppsslam och med matavfall.
- Doktorandprojektet "Hållbar kolåtervinning ur avloppsrenings slam" som drivs av IVL, SLU, SVOA, Käppala och Syvab med start 2019. Flera pilottester där produktion av fettsyror och kolkällor från olika substratblandningar undersöks har redan genomförts. Tester med att ersätta fossila kolkällor har dessutom framgångsrikt validerats i pilotskala. Även olika förbehandlingsmetoder för olika slamtyper för att öka fettsyraproduktionen har testats i pilotskala.
- Doktorandprojekt Ideal Carbon Utilisation (ICU)<sup>5</sup> undersöker en kombinerad förfiltrering med mikrosilning (Salsnesfilter) och primär slamhydrolys/fermentering i pilotskala för produktion av kolkällor.
- Doktorandprojekt vid KTH om produktion av Polyhydroxialkanoater (PHAs) från fettsyror. PHAs är biopolymerer och kan utgöra alternativ till petrokemiskt baserade plaster som dessutom är biologisk nedbrytbara (Khatami et al., 2021).

#### Projektgruppens bedömning

Många avloppsreningsverk i Sverige har fått, eller förväntas få, striktare krav på kväverening och måste därför uppgradera den biologiska reningen inom en snar framtid. Detta medför bl.a. en ökad tillsats av extern kolkälla för att åstadkomma en framgångsrik denitrifikation. I nuläget används framför allt metanol med fossilt ursprung som extern kolkälla inom avloppsrening. Denna användning av fossila resurser leder till en stor klimatpåverkan. Olika metoder för att producera kolkälla från avloppsslam via hydrolys av slam till fettsyror kan således ersätta fossila produkter och därmed öka cirkulariteten och hållbarheten inom avloppsvattenreningen avsevärt. På samma gång kan beroendet

<sup>5</sup> <https://www.swedenwaterresearch.se/en/projekt/phd-project-ideal-carbon-utilisation-icu/>



av externa leveranskedjor minska. Eftersom den svenska kemiindustrin har en vilja att använda gröna alternativ i stället för bulkkemikalier med fossilt ursprung, bedöms potentialen för fettsyraproduktion som stort. En utvinning av fettsyror kan dock påverka biogasproduktionen vilket behöver beaktas.

## 1.6 Separation för utvinning av biopolymerer

Beskrivning								
<p>Tekniker för att återvinna högmolekylära polymerer som genereras av bakterier vid avloppsvattenrening och som de vis finns i slamfasen har börjat utvecklas. Dessa polymerer kallas inom avloppsvattenrening ofta för EPS – Extracellulära Polymera Substanser. EPS liknar alginat (polysackarid som återfinns i cellväggar på alger), och kan användas som bindemedel, förtjockningsmedel, i beläggningar, som biostimulerande medel, samt i petrokemiska material eller för produktion av biokomposit. Idag används polymerer för slamavvattning på avloppsreningsverk och detta är ett annat tänkbart användningsområde för återvunna biopolymerer.</p> <p>Utvinning av biopolymerer kan ske på olika sätt där separationen av polymerer från slam eller vattenfasen är avgörande. Utvecklingen av hur biopolymerer kan utvinnas och separeras från olika massor, kommer att vara starkt kopplat till vilka de framtida användningsområdena blir.</p> <p>Vissa reningsprocesser för avloppsrening kan vara bättre lämpade än andra för utvinning av biopolymerer. Processer som medför en anrikning av EPS i slamfasen (t.ex. AGS och MBR) kan exempelvis ge en mer resurseffektiv återvinning.</p>								
Produkt								
Biopolymerer								
Fördelar								
<ul style="list-style-type: none"> <li>Slammängden som behöver hanteras minskar efter biopolymerutvinning.</li> <li>Biobaserad och biologiskt nedbrytbar.</li> </ul>								
Nackdelar								
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ännu i utvecklingsfasen även om första installationer finns</li> <li>Hög kemikalie- och energiförbrukning.</li> </ul>								
Teknikmognad (TRL)								
Teknikmognad varierar stort för olika tekniklösningar.								
		↓	-	-	-	-	-	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Referensprojekt								
<p>Det finns ännu inga referensprojekt i Sverige även om det pågår FoU-aktiviteter. Delft University of Technology har dock inom LIFE-projektet Waste2NeoAlginat arbetat med utvinning av biopolymerer från slamgranuler som uppstår vid deras Nereda-granulprocess och som kallas Kaumera Nereda® Gum<sup>6</sup>. För närvarande finns det två Kaumera-utvinningsanläggningar under utveckling i Nederländerna. En av dessa anläggningar ligger i Epe, Nederländerna och den ska baseras på rening av kommunalt avloppsvatten.</p>								

<sup>6</sup> <https://kaumera.com/english/>



### Projektgruppens bedömning

En utvinning av biopolymerer kan vid vissa avloppsreningsverk bli en del av cirkulär helhetslösning när biopolymeren som utvinns från slam kan användas för att ersätta avvattningsspolymerer vid samma anläggning. Hur stor den ekonomiska potentialen blir är enligt projektgruppen ännu svårt att bedöma. Däremot bedöms tekniken endast bli intressant för några enstaka avloppsreningsverk i Sverige. Det finns olika processer som kan nyttjas för att utvinna biopolymerer även om det saknas fullständiga utvärderingar. Exempel på relevanta processer är dock aktivslamprocessen, eller AGS-processen, vilken är en aerob process med granuler. Projektgruppen har erfarenhet av membranbaserade bioreaktorer, s.k. MBR-anläggningar, som också kan vara relevanta för utvinning av biopolymerer. Här anrikas EPS i slammet.

## 1.7 Termisk behandling för slamkolproduktion

### Beskrivning

Vissa termiska behandlingstekniker av kommunalt avloppsslam genererar ett slamkol. Slamkolet innehåller, förutom näring och energi, även andra resurser som kan återanvändas. Till de mest relevanta slamkolsfraktionerna räknas både hydrokol från hydrotermisk karbonisering (HTC)-behandling och biokol från pyrolysbekhandling.

En intressant effekt vid behandling med dessa tekniker är den kolinbindning som uppnås om det bildade biokolet återförs till t ex jordbruksmark. Processen kan således bidra med en viss kolsänkepotential. Detta kan leda till att tekniker för produktion av slamkol blir attraktiva framöver eftersom de bidrar till att minska klimatpåverkan<sup>7</sup>, även om omfattningen av denna är liten relativt sektorns totala klimatavtryck. Även om själva kolet i avloppsslam är av biogent ursprung åstadkoms en kolinlagring och därmed minskning av koldioxidutsläpp jämfört med när vanlig slamspridning sker. Biokol från pyrolysbekhandling bedöms kunna åstadkomma en mycket högre kolsänkepotential än hydrokol från HTC-behandling. Biokol kan också bidra till förbättrade jordegenskaper och en högre förmåga till att kvarhålla vatten i marken.

### Produkt

Slambiokol (med varierande egenskaper)

### Fördelar

- Teknikerna används främst för återvinning och återföring av fosfor och när en direkt slamspridning inte kan ske. Andra resurser som kan återvinnas fås "på köpet".

### Nackdelar

- I utvecklingsfasen, även om några första fullskaleinstallationer finns på plats utomlands.

### Teknikmognad (TRL)

							↓	↓
1	2	3	4	5	6	7	8	9

### Referensprojekt

Pyrolysis av slam har testats inom Vinnovaprojektet Slamförädling genom pyrolysis (2014-02309). I Sverige har pilottester med hydrotermisk karbonisering (HTC) utförts vid

<sup>7</sup> Naturvårdsverket - [Biokol är en viktig resurs för omställning](#)



Margretelund ARV (Baresel et al., 2023). Tester visade att det producerade slambiokolet var av god kvalitet och hade en kolsänkepotential.

#### Projektgruppens bedömning

I vilken utsträckning pyrolys eller HTC kommer att implementeras vid svenska avloppsreningsverk påverkas framför allt av hur kraven på slamspridning kommer att se ut i framtiden. Om ett förbud för slamspridning blir aktuellt, eller om andra krav på slammets innehåll blir aktuella kommer teknikerna med pyrolys och HTC att bli mer attraktiva.

## 2 Relevanta innovativa tekniker/system

Det finns flera forskningsaktiviteter och testprojekt som undersöker olika innovativa system för utvinning av andra resurser från avlopp än vatten, näring och energi som presenteras i de andra delsynteserna. Till detta kan olika användningsmöjligheter av koldioxid som uppstår vid slamrötning och en efterföljande uppgradering av biogas till fordonsbränsle räknas. Genom att utnyttja billig förnybar el och elektrobränsleprocesser i kombination med koldioxidöverskott från biogasproduktionen skulle ytterligare metan kunna produceras från avloppsslam. I vissa teknikutformningar kan även den konventionella biogasuppgraderingen utgå, förutsatt att vätgas finns tillgänglig. Flera tekniklösningar finns såsom termokemisk metanisering, biologisk metanisering som sker i eller utanför processen (in-situ respektive ex-situ).

Även tvättkemikalier, däribland oxalsyra som nyttjas för rengöring av membran vid membranbioreaktorprocessen skulle potentiellt kunna tillverkas på den koldioxid som uppstår vid avloppsreningsverk.

Eftersom dessa och andra tekniker ännu inte motsvarar en hög teknisk mognadsgrad, kan någon vidare relevant information inte återges här i detalj.



### 3 Referenser

- Alskaf, D., Daebes, A., Ebrahim, R., Ly, T., Sandvik, S., Wallin, V. 2022. Möjligheter till resursutvinning från kommunalt avloppsvatten. Institutionen för samhällbyggnadsteknik och arkitektur, Chalmers tekniska högskola.
- Baresel, C., Axegård, P., Lazic, A., Bornold, N., Yang, J.-J., Malovanyy, A. 2023. Framtidens slamhantering vid Roslagsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Carling, M., Håkansson, K., Mácsik, J., Mossakowska, A., Rogbeck, Y. 2007. Vägledning – Flygkastabiliserat avloppsslam (FSA) som tätskikt. Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- Ek, M., Sundqvist, J.-O. 1998. Skogsindustriellt avfall, idéer angående utnyttjande och omhändertagande (No. B 1293). IVL, Stockholm.
- Evuti, A.M., Lawal, M. 2011. Recovery of coagulants from water works sludge: A review. *Adv Appl Sci Res* 2(6):410-417.
- Keeley, J., Jarvis, P., Judd, S.J. 2014. Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 44, 2675–2719. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829766>
- Khatami, K., Perez-Zabaleta, M., Owusu-Agyeman, I., Cetecioglu, Z. 2021. Waste to bioplastics: How close are we to sustainable polyhydroxyalkanoates production? *Waste Manag.* 119, 374–388. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.008>
- Luyckx, L., Van Caneghem, J. 2021. Recovery of phosphorus from sewage sludge ash: Influence of incineration temperature on ash mineralogy and related phosphorus and heavy metal extraction. *J. Environ. Chem. Eng.* 9, 106471. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106471>
- Owusu-Agyeman, I. 2022. Bio-based recovery of organic carbon from municipal waste streams. Department of Chemical Engineering, KTH, Stockholm.
- Palmieri, S., Cipolletta, G., Pastore, C., Giosuè, C., Akyol, Ç., Eusebi, A.L., Frison, N., Tittarelli, F., Fatone, F. 2019. Pilot scale cellulose recovery from sewage sludge and reuse in building and construction material. *Waste Manag.* 100, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.015>
- Pikaar, I., Guest, J., Ganigué, R., Jensen, P., Rabaey, K., Seviour, T., Trimmer, J., van der Kolk, O., Vaneekhaute, C., Verstraete, W. (Red.). 2022. *Resource Recovery from Water: Principles and Application*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409566>
- Ruiken, C.J., Breuer, G., Klaversma, E., Santiago, T., van Loosdrecht, M.C.M. 2013. Sieving wastewater – Cellulose recovery, economic and energy evaluation. *Water Res.* 47, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.023>
- Staszak, K., Wieszczycka, K. 2023. Recovery of Metals from Wastewater—State-of-the-Art Solutions with the Support of Membrane Technology. *Membranes* 13, 114. <https://doi.org/10.3390/membranes13010114>
- Ulmert, H., Fritzdorf, I., Gestlöf, B., Stendahl, K., Persson, K.M. 2006. Återvinning av vattenverksslam (VA-Forsk rapport).



# Delsyntes 3: Regelinventering, hinderanalys och goda exempel

Lagstiftning och icke-lagstadgade styrdokument som berör vattenresursförvaltning och därmed återvinning och återanvändning av resurser från avlopp kommer från många olika områden som till exempel livsmedelslagstiftningen (dricksvatten), miljölagstiftningen (vatten och habitat), jordbrukslagstiftning och plan- och bygglagstiftningen. Trots omfattande regelverk är det få som specifikt hanterar återvinning och återanvändning av resurser från avlopp.

Denna delsyntes kartlägger och beskriver väldigt kortfattat de viktigaste regelverken som påverkar återvinning och återanvändning av resurser från avlopp. Från detta identifieras olika regelhinder och behov för ny reglering eller vägledning, men delsyntesen lyfter också fram exempel på hur vissa lösningar hittats vid praktisk tillämpning.

Den primära målgruppen för den sammanfattade informationen i denna delsyntes är svenska myndigheter och kommuner. Föreliggande delsyntes är projektgruppens reviderade slutversion och är baserad på granskning och inspel från både experter inom området, berörda myndigheter och den breda referensgruppen.

## Innehåll

1	Projektgruppens samlade bedömning - korta slutsatser utifrån regelanalysen.....	2
2	Inventering av lagstiftning, praxis och styrdokument .....	4
2.1	Den svenska regleringen i miljöbalken.....	4
2.2	Förordningar till miljöbalken och andra regelverk.....	6
2.3	Några relevanta EU-regler.....	9
2.4	Styrdokument, standarder och stöd för ökad återvinning .....	13
3	Goda exempel i Sverige.....	14
3.1	Göteborg med Gryaab samt Northvolt och Volvo Cars .....	14
3.2	Sotenäs med Orkla m.fl. och Renahav .....	15
3.3	Mörbylånga kommun och Guldfågeln .....	15
3.4	Helsingborgs kommun Oceanhamnen sortering direkt ut ur hushållen .....	15
3.5	Stenungsunds kommuns avloppsreningsverk och Perstorp Oxo AB:s kylvattenbehov .....	15
3.6	Lysekils kommuns avloppsreningsverk och musselodling .....	15
3.7	Enskilda avlopp och kretsloppspotential.....	16
3.8	Exempel på pågående prövningsprocesser i Sverige .....	16



# 1 Projektgruppens samlade bedömning - korta slutsatser utifrån regelanalysen

**Generellt finns det ett tydligt stöd för resurshushållning i övergripande regelverk och goda exempel visas i rättspraxis.** Att styra mot resurshushållning och bygga systemlösningar har starkt stöd i regler och i den praxis som finns. När större system med fungerande återföring finns kan resurserna skyddas av kretsloppsbestämmelserna, exempelvis har minireningsverk på en enskild fastighet avslagits när det finns fungerande Va-system med högre kretsloppspotential som fungerande alternativ. Resurshushållning krävs även för pågående verksamheter vilket anges särskilt i förarbetena och har upprätthållits av praxis (prop. 1997/98:45 Del 2, s 273 och MÖD 2015:27 gällande byte av värmekälla i en lokal, från oljeeldning till värmepumpänläggning).

**Det finns dock stort behov av mer vägledning från centrala myndigheter för ändrade tillstånd och godkännanden samt att tillståndsprocesser i den cirkulära kedjan länkas ihop.** Även regelverket för prövning är inte specifikt anpassat för att lätt kunna hantera en ökad resursåtervinning från avlopp. Nya lösningar kan kräva ändrade tillstånd eller godkännandeprocesser. Nya sätt att utforma och bedriva verksamheter för att främja den hållbara resursanvändningen och den cirkulära ekonomin kan innebära att nya eller ändrade tillstånd för verksamheten krävs. Alternativt kan någon del av de nya åtgärderna behöva ett särskilt godkännande utifrån miljö- och hälsoskydd eller på grund av nya tekniska installationer och ändringar i vattenflöden. Ny hantering av avloppen, och nya typer av samarbeten mellan aktörer för symbioslösningar, kan innebära nya frågeställningar för de myndigheter och andra aktörer som tillsammans ska genomföra en tillståndsprocess för de nya verksamheterna. Tillståndsprocesser där det saknas utarbetad praxis och kunskap hos myndigheterna är generellt sett tyngre att driva för enskilda huvudmän. För att den hållbara resursanvändningen och den cirkulära ekonomin ska främjas krävs att dessa processer ges ökad uppmärksamhet av myndigheterna redan tidigt i processen. De möjligheter som finns i regelverken att samordna eller länka tillstånd för flera verksamheter som kan fungera i symbios behöver utvecklas så de fungerar för dagens aktörer.

**Prövotid på tillståndsvillkor ger tid för kunskapsbyggande.** Att använda sig av ett prövotidsförfarande i samband med större prövningar av miljöfarlig verksamhet kan vara ett bra sätt att bygga upp kunskap både hos verksamheten och myndigheten. Då läses inte alla villkor vid känd teknik utan det finns en möjlighet att utveckla verksamheten mot en mer resurssnål och även cirkulär process. I samband med ny prövning av tillståndet för Lysekils kommuns avloppsreningsverk användes detta förfarande för att pröva om musselodling i havet utanför avloppsreningsverket skulle kunna vara ett alternativ till konventionell kväverening.

**Vad som är biprodukter, återvunna produkter eller avfallsprodukter för återvinning behöver tydliggöras för aktörerna.** Den rättspraxis som EU-domstolen utvecklat kring vad som är biprodukter eller efter återvinning inte längre avfall värnar hälsoskyddet och upplevs ofta försvårande för cirkulära lösningar. Centrala myndigheter som utövar tillsyn behöver hjälpa aktörer med guidning kring hur deras produkter kan klara reglerna för att lyckas med återvinning och återanvändning. En certifiering kan tydliggöra processen för producenten, men fallet med REVAQ visar att även välkontrollerade och rena flöden kan ha





svårt att uppvisa efterfrågan på en marknad (där kunden inte får betalt för att använda produkten).

**EU-regler trycker till viss del på för mer förnybar energiåtervinning och cirkulär resurshantering av vatten och slam.** EU:s arbete för en cirkulär ekonomi och minskad klimatpåverkan ger avtryck i regleringar som uttrycker starkt stöd för återvinning av resurser ur avfall och avlopp. Flertalet regleringar uppställer även höga miljö- och hälsoskydds krav, vilket kan göra reglerna snåriga att överblicka för enskilda aktörer. EU:s revidering av avloppsdirektivet och översyn av färdplan för ändringar av slamdirektivet pekar ut delvis nya krav och hänsyn till cirkulär utveckling. Ökat stöd med rådgivning från nationella myndigheter som kan ge tydlighet till EU-reglerna skulle underlätta för att svenska aktörer kan dra större nytta av nya EU-regler.

**Starkt skydd finns mot hälsofarliga substanser i närhet av livsmedelsproduktion.**

Livsmedelslagstiftningen innehåller gränsvärden för ett antal hälsofarliga substanser i livsmedel. Detta påverkar hur och var återförda näringsämnen från avloppsströmmar kan användas på brukad mark. Här blir det viktigt att se till så att förhållandevis "rena" volymer inte blandas med sådana som riskerar att innehålla höga halter av t ex tungmetaller. Uppströmsarbetet inom VA-sektorn är centralt här och källsorterade system är fördelaktiga jämfört med dagens konventionella system.

**Förtydligande i föreskrifterna om allmänna vatten- och avloppstjänster (ABVA) skulle gynna energiåtervinning i fastigheter.** De formuleringar som finns i kommunernas ABVA kan i dagsläget begränsa möjligheten att ta ut värme ur till exempel spillvatten. Svenskt Vatten arbetar med att ta fram ett nytt förslag till normalförslag för ABVA. Det senaste förslaget P94 togs fram i samband med att den nuvarande vattentjänstlagen trädde i kraft 2007. Det skulle vara fördelaktigt om det nya normalförslaget öppnade upp för ökad värmeåtervinning eftersom det bland annat kan ge ökade möjligheter för hushållsnära energiåtervinning. En formulering som kan fungera är den som en del kommuner använder sig av idag: "Värmeuttag ur avloppsvatten får inte ske så att temperaturen i utsläppt avloppsvatten underskrider temperaturen i det av huvudmannen levererade dricksvattnet."

**Nya föreskrifter om att byggnader ska medge god hushållning med vatten kan bli ännu tydligare kring avlopp.** Boverket har presenterat nya föreskrifter om tekniska egenskaper av byggnader om hushållning med vatten och avfall. Det är bra med dessa preciserade regler i dessa hänseenden men vi ser också att en precisering avseende byggnaders egenskaper för hushållning med just avlopp skulle vara motiverad och stärka utvecklingen med 'fler-rör-system' för källsortering och återanvändning inom byggnader.

**Att som aktör identifiera olika kvalitetsbehov av tekniskt vatten möjliggör fler lösningar för vattenåtervinning.** Lika höga kvalitetskrav som ställs på dricksvatten ställs sällan för olika typer av tekniskt vatten som exempelvis kylvatten till industriell verksamhet eller vatten för bevattning. I och med möjligheten att producera/leverera vatten av olika kvaliteter till olika behov och behovsägare ökar möjligheterna till resurshushållning med vattenresurser.



## 2 Inventering av lagstiftning, praxis och styrdokument

Den som vill ställa om processer i befintliga avloppsreningsverk, ändra avloppshantering i verksamheter eller bostäder och utvinna näringsämnen energi och andra resurser från avloppsvatten och slam behöver förhålla sig till många olika lagar och regelverk. Det kan krävas nya tillstånd eller godkännanden för åtgärderna och både lagar, myndighetsföreskrifter och tidigare praxis kan behöva utmanas.

Här görs en översiktlig genomgång av regelverk först på nationell nivå och sedan på EU-nivå som kan aktualiseras när avloppsvatten och slam ska hanteras som resurs.

### 2.1 Den svenska regleringen i miljöbalken

Bestämmelserna i miljöbalken syftar enligt 1 kap. 1 § till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. En sådan utveckling bygger på insikten att naturen har ett skyddsvärde och att människans rätt att förändra och bruka naturen är förenad med ett ansvar för att förvalta naturen väl. Vidare ska miljöbalken tillämpas så att återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

Miljöbalkens kapitel 1–6 innehåller en mängd övergripande bestämmelser. Kapitel 7–8 behandlar skydd av naturen. Kapitel 9–15 rör särskilda bestämmelser om vissa verksamheter. Slutligen behandlar kapitel 16–31 processuella regler rörande prövning, tillsyn, påföljder samt ersättning och skadestånd.

#### 2.1.1 Miljöbalken 2 kap

De allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken är centrala för att resurshushållningen ska tillämpas. Dessa hänsynsregler och ett antal principer vars tillämpning ska möjliggöra att balkens mål uppnås återfinns i 2 kap. i balken. Paragraferna i hänsynsreglerna behandlar försiktighetsprincipen med krav på försiktighetsmått i syfte att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. Här ställs även kunskapskrav på verksamhetsutövare. Kraven i detta kapitel innefattar också att yrkesmässig verksamhet ska använda sig av bästa möjliga produkter och teknik ur ett miljö- och hälsoperspektiv, kallat produktvalsprincipen.

Det finns ett tydligt stöd för resurshushållning och kretslopp i miljöbalken. För resurshushållning och kretslopp är 2 kap. 5 § miljöbalken absolut central. Denna paragraf ger uttryck för hushållningsprincipen. Paragrafen kallas också populärt kretsloppsprincipen. Alla som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd ska hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna till återanvändning och återvinning. Verksamhetsutövare ska arbeta för att minska mängden avfall, minska mängden skadliga ämnen i material och produkter, minska de negativa effekterna av avfall, och återvinna avfall. Utöver detta fokus på avfall ska verksamhetsutövare också tillse så att förnybara energikällor används i första hand.



### 2.1.2 Miljöbalken 5 kap

I balkens 5 kap återfinns de regler som rör miljö kvalitetsnormer. Miljö kvalitetsnormer finns för mark, vatten, luft eller miljön i övrigt. Normerna kan antingen gälla för vissa utpekade geografiska områden eller för hela landet och dessa föreskrifter beslutas för att varaktigt skydda människors hälsa eller miljön eller för att avhjälpa skador på eller olägenheter för människors hälsa eller miljön.

Till exempel får en myndighet eller en kommun inte tillåta att en verksamhet eller en åtgärd påbörjas eller ändras om detta, trots åtgärder för att minska föroreningar eller störningar från andra verksamheter, ger upphov till en sådan ökad förorening eller störning som innebär att vattenmiljön försämras på ett otillåtet sätt eller som har sådan betydelse att det äventyrar möjligheten att uppnå den status eller potential som vattnet ska ha enligt en miljö kvalitetsnorm.

### 2.1.3 Miljöbalken 6 kap

I detta kapitel finns bestämmelser om identifiering, beskrivning och bedömning av miljö effekter vid planering av och beslut om planer och program (strategiska miljö bedömningar) och verksamheter och åtgärder (specifika miljö bedömningar). Syftet med en miljö bedömning är att integrera miljö aspekter i planering och beslutsfattande så att en hållbar utveckling främjas.

### 2.1.4 Miljöbalken 9 kap

Detta kapitel i miljö balken behandlar miljö farlig verksamhet och hälsoskydd. Med miljö farlig verksamhet avses bland annat utsläpp av avloppsvatten från mark, byggnader eller anläggningar i mark, vattenområde eller grundvatten.

Med avloppsvatten avses i miljö balken spillvatten eller annan flytande orenlighet, vatten som använts för kylning, vatten som avleds för sådan avvattning av mark inom detaljplan som inte görs för en viss eller vissa fastigheters räkning, eller vatten som avleds för avvattning av en begravningsplats.

Med olägenhet för människors hälsa avses i miljö balken störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka hälsan menligt och som inte är ringa eller helt tillfällig.

I detta kapitel av balken regleras tillståndsplikt för verksamheter som kan medföra påverkan på miljön, vilket inkluderar bland annat avloppsreningsverk och energiproduktionsanläggningar.

### 2.1.5 Miljöbalken 11 kap

I miljö balkens 11 kap. finns bestämmelser om så kallad vattenverksamhet. Här regleras att uttag av vatten eller utsläpp i ett vattenområde kan behöva prövas genom anmälan eller ansökan. Reglerna omfattar bland annat bortledning av vatten från ett vattenområde eller åtgärder som syftar till att ändra vattnets djup och läge exempelvis genom grävning, sprängning eller rensning. Ett avloppsreningsverks tillstånd enligt 9 kap. i miljö balken innehåller bestämmelser som rör föroreningsinnehåll i utsläppet från verksamheten. Men om man har för avsikt att använda det utgående vattnet kan detta uttag behöva prövas enligt 11 kapitlet.



Tillstånd enligt detta kapitel behövs inte för exempelvis vattentäkt för en- eller tvåfamiljsfastighets eller jordbruksfastighets husbehovsförbrukning eller värmeförsörjning, utförande av anläggningar för utvinning av värme, om åtgärden inte avser vattentäkt. Tillstånd eller anmälan om vattenverksamhet behövs inte heller, om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena.

### 2.1.6 Miljöbalken 12 kap

I det 12:e kapitlet i miljöbalken behandlas verksamheter eller åtgärder som inte omfattas av tillstånds- eller anmälningsplikt enligt andra bestämmelser i denna balk, men som kan komma att väsentligt ändra naturmiljön. För sådan verksamhet eller åtgärd ska anmälan för samråd göras hos den myndighet som utövar tillsynen enligt bestämmelser i 26 kapitlet, eller bestämmelser som har meddelats med stöd av samma kapitel.

### 2.1.7 Miljöbalken 15 kap

Med **avfall** avses i miljöbalken varje ämne eller föremål som innehavaren gör sig av med, avser att avlägsna, eller är skyldig att göra sig av med.

Med att hantera avfall avses i miljöbalken att samla in, transportera, sortera, återvinna, bortskaffa eller ta annan fysisk befattning med avfall, eller vidta åtgärder som inte innebär fysisk befattning med avfall men som syftar till att avfall samlas in, transporteras, sorteras, återvinns, bortskaffas eller byter ägare eller innehavare.

Ett ämne eller produkt anses vara en biprodukt, och inte ett avfall om det uppkommer i en process där huvudsyftet är att producera något annat. Detta gäller förutsatt följande kriterier uppfylls: det är säkerställt att ämnet eller föremålet kommer att fortsätta användas; ämnet eller föremålet kan användas direkt utan någon annan bearbetning än den bearbetning som är normal i industriell praxis; ämnet eller föremålet har producerats som en integrerad del av produktionsprocessen samt; den användning som avses i första kriteriet inte strider mot lag eller annan författning och inte leder till allmänt negativa följder för miljön eller människors hälsa.

I samma kapitel i miljöbalken anges att avfall som har genomgått ett återvinningsförfarande upphör att vara avfall om ämnet eller föremålet ska användas för ett visst ändamål och det finns en marknad för, eller efterfrågan på, sådana ämnen eller föremål. Ämnet eller produkten behöver också uppfylla tillämpliga krav i lag och annan författning. Användningen av ämnet eller föremålet får vidare inte leda till allmänt negativa följder för människors hälsa eller miljön, vilket behöver styrkas.

## 2.2 Förordningar till miljöbalken och andra regelverk

### 2.2.1 Förordningen om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd

Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (FMH). Denna förordning gäller miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd enligt 9 kap i miljöbalken. I förordningen regleras till exempel tillstånds- eller anmälningsplikt för ett antal verksamheter och åtgärder. I förordningen hanteras begreppet olägenhet för människors hälsa och miljön – som bland annat kan handla om luktolägenhet från verksamhet eller åtgärd. Denna förordning reglerar bland annat tillståndsplikt för avlopp och ger kommuner rätt att



meddela föreskrifter för att hindra olägenheter för människors hälsa, 40 § 2 pkt FMH. Sådana föreskrifter kan gälla spridande av slam inom eller nära detaljplanlagt område.

### 2.2.2 Miljöprövningsförordningen

Miljöprövningsförordningen (2013:251) innehåller bestämmelser om tillståndsplikt och anmälningsplikt för verksamheter och åtgärder som avses i 9 kap. miljöbalken. Förordningens 28 kap. behandlar rening av avloppsvatten och 29 kap. avfall samt verksamheter och åtgärder för hantering och behandling av detta. I dessa båda kapitel återfinns verksamhetskoder för tillståndspliktiga respektive anmälningspliktiga verksamheter rörande rening av avloppsvatten respektive hantering av avfall.

Verksamheter eller åtgärder som återvinner och återanvänder resurser från avlopp kan vara anmälnings- eller tillståndspliktiga. Tillstånds- eller anmälningsplikt kan till exempel gälla för lagring och övrig hantering av gas- eller vätskeformiga produkter, anaerob biologisk behandling av avfall för produktion av biogas. Även värmepump eller kylanläggning för uttag eller tillförsel av värmeenergi från avloppsvatten kan vara anmälningspliktig verksamhet. Tillståndsplikt för avloppsreningsanläggning för bland annat de kommunala avloppsreningsverken för föroreningsmängd som motsvarar 2000 personekvivalenter eller mer regleras också i miljötillsynsförordningen (2011:13). För avloppsreningsverk som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 200 men mindre än 2 000 personekvivalenter gäller anmälningsplikt.

### 2.2.3 Avfallsförordningen

Avfallsförordningen (2020:614) innehåller bestämmelser om hantering av avfall, inklusive slam från avloppsreningsverk. Förordningen innehåller även bestämmelser om avfallsförebyggande åtgärder. Förordningen är meddelad med stöd av 15 kap. miljöbalken. Förordningen reglerar både produktionen och användningen av slam som gödselmedel eller energikälla.

### 2.2.4 Förordning om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter

I 20 § i förordning (1998:944) om förbud med mera i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter återfinns haltgränsvärden för sju metaller i avloppsslam som saluhålls eller överläts för jordbruksändamål. Gränsvärdena anges i enheten milligram per kg torrs substans (mg/kg TS).

### 2.2.5 Naturvårdsverkets kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket

Syftet med föreskrifterna i kungörelse (SNFS 1994:2) är att reglera användningen av avloppsslam inom jordbruket på ett sådant sätt att skadliga effekter på mark, vegetation, djur och människor hindras, samtidigt som en riktig användning av avloppsslam uppmuntras. Föreskrifterna innehåller krav på registerhållning, kontroll, innehållsdeklaration, spridningsbegränsningar. Föreskrifterna innehåller även gränsvärden för högsta tillåtna mängder tillförsel av fosfor, kväve samt gränsvärden för tillförsel av mängd för sju metaller till jordbruksmark. Dessa gränsvärden anges i enheten gram per hektar och år (g/ha,år), tillskillnad från haltgränserna som återfinns i 1998:944.

Den som använder avloppsslam i sitt jordbruk ska följa Naturvårdsverkets bestämmelser och gränsvärden om detta. Naturvårdsverkets bestämmelser säger att den som producerar



avloppsslam (reningsverket) ska lämna en innehållsdeklaration för slammet till den som ska använda det på åkermark. Om någon säljer eller överlåter slammet ska den lämna innehållsdeklarationen vidare till den som ska använda slammet.

### 2.2.6 Miljöbedömningsförordningen (2017:966)

Denna förordning innehåller bestämmelser om miljöbedömningar enligt 6 kap. miljöbalken.

### 2.2.7 Jordbruksverkets föreskrifter om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring

Jordbruksverkets föreskrifter (SJVFS 2004:62) om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring innehåller regler rörande lagring av stallgödsel och spridning av stallgödsel, övriga organiska gödselmedel och mineralgödsel med avseende på bland annat kvävemängder, fosforgiva, spridningstider, regler för nedbrukning med mera. Föreskriften innehåller även allmänna råd till 2 kap. 3 miljöbalken när det gäller gödsling. En hänvisning till ytterligare bestämmelser om avloppsslam görs till SNFS 1994:2.

Begreppet "övriga organiska gödselmedel" definieras i föreskriften och omfattar i princip alla organiska restprodukter som kan användas som gödselmedel.

### 2.2.8 Livsmedelslagen

Livsmedelslagen (2006:804) syftar till att säkerställa en hög skydds nivå för människors hälsa och för konsumenternas intressen när det gäller livsmedel. Livsmedelslagen reglerar innehåll av kemikalier i livsmedel och därmed också i dricksvatten. Detta kan påverka användning av kemikalier, samt hantering av avfall såsom avloppsslam och återvinning av resurser i livsmedelsproduktion. Lagen gäller alla stadier av produktions-, bearbetnings- och distributionskedjan för livsmedel och kan även komma att påverka hanteringen av återvunnet vatten.

### 2.2.9 Lagen om allmänna vattentjänster

Bestämmelserna i Lag (2006:412) om allmänna vattentjänster (LAV) säkerställa att vattenförsörjning och avlopp ordnas i ett större sammanhang om det behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa eller miljön. Lagen föreskriver att en allmän VA-anläggning skall ordnas och drivas så att den uppfyller de krav som kan ställas med hänsyn till skyddet för människors hälsa och miljön och med hänsyn till intresset av en god hushållning med naturresurser (10 §) vilket ger stöd för att vid anläggningens utformning integrera rimliga åtgärder för återanvändning av vatten, näring och energi. Kostnader för högre krav på återanvändning än så kan dock inte tas från VA-kollektivet då VA-avgifterna inte får överskrida det 'som behövs för att täcka de kostnader som är nödvändiga för att ordna och driva va-anläggningen' (30 §). Detta minskar incitamenten för VA-huvudmännen att utveckla verksamheten med fokus på cirkulära flöden.

Kommunen ska fastställa föreskrifter/bestämmelser för användningen av den allmänna VA-anläggningen (ABVA). ABVA utgör en form av normgivning som kommunen bestämmer ensidigt, dvs. det krävs inte något avtal med fastighetsägaren för att bestämmelserna skall bli bindande. De formuleringar som finns i kommuners ABVA kan i dagsläget ofta begränsa möjligheten att ta ut värme ur till exempel spillvatten.

Observera att rättsliga och ekonomiska förhållanden mellan VA-huvudman och till exempel industrier och andra verksamheter kan regleras via civilrättsliga avtal och inte direkt med stöd av LAV eller ABVA.



### 2.2.10 Plan- och bygglagen

I Plan- och bygglag (2010:900) (PBL) finns bestämmelser om planläggning av mark och vatten och om byggande. Bestämmelserna syftar till att, med hänsyn till den enskilda människans frihet, främja en samhällsutveckling med jämlika och goda sociala levnadsförhållanden och en god och långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer.

PBL kan också reglera att anläggningar såsom avloppsreningsverk, biogasanläggningar och liknande följer bestämmelserna om lämplig placering och avstånd till känsliga områden, till exempel bostäder, för att minska eventuella olägenheter såsom lukt, buller med mera för omgivningen.

Med stöd av PBL ställs krav på bland annat byggnadsverk och byggprodukter vad beträffar utformning och tekniska egenskaper. Vad beträffar ett byggnadsverks tekniska egenskaper kan till exempel krav ställas rörande skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljön. Men även krav rörande hushållning med vatten och avfall kan ställas. I vissa sammanhang har krav ställts på "tre rör ut" från bostad, det vill säga toalettfraktion, BDT-fraktion och fraktion innehållande material från avfallskvarn för biologiskt avfall såsom matavfall.

## 2.3 Några relevanta EU-regler

### 2.3.1 Hur gäller EU-regler i Sverige?

Reglerna på EU-nivå är EU-direktiv, EU-förordningar, EU-beslut och EU-rekommendationer. En EU-förordning är något alla medlemsländer måste tillämpa i sin helhet. En EU-förordning som har trätt i kraft är direkt tillämplig och gäller i alla medlemsländer utan att inkorporeras eller transformeras till nationella rättsregler. Den blir en del av den nationella lagstiftningen genom sitt ikraftträdande. EU-förordningar ska tillämpas direkt av nationella domstolar och andra myndigheter. Ett medlemsland får inte anta rättsakter som går emot det som står i förordningen. Om det visar sig att medlemslandets nationella bestämmelser strider mot en gällande förordning är det förordningen som gäller.

Ett EU-direktiv sätter upp vilka mål som medlemsländerna ska uppnå, men de får själva bestämma hur det ska gå till. Ett EU-direktiv har som mål att harmonisera medlemsländernas nationella lagstiftning på något område, exempelvis miljö. Direktivet föreskriver vilket resultat medlemsländerna ska uppnå men lämnar åt dessa att bestämma form och tillvägagångssätt för genomförandet. I direktivet står när det senast ska vara genomfört i medlemsländerna. Medlemslandet ska avgöra om innehållet i direktivet stämmer överens med gällande lagstiftning eller om det behövs ändringar i gällande lagar eller om ny lagstiftning krävs. Om ett medlemsland anser sig ha de bestämmelser som föreskrivs i direktivet behöver det landet inte göra något särskilt utan kan hänvisa till de befintliga bestämmelserna. Om ett direktiv inte genomförs i tid eller på felaktigt sätt kan kommissionen väcka talan om fördragsbrott. Ett minimidirektiv innebär att medlemsländerna som minst måste anta de krav som direktivet ställer, men det finns en möjlighet att i vissa avseenden ha nationellt strängare regler än direktivet kräver. Flertalet direktiv på miljöskyddets område är minimidirektiv.

Ett EU-beslut är bindande för dem som det riktar sig till, t.ex. ett enskilt EU-land eller företag, och är direkt tillämpligt.



En EU-rekommendation är inte bindande. Utöver detta görs ibland yttranden, som är just detta. Uttalanden utan rättsliga skyldigheter för mottagarna. Det kan utfärdas av EU:s största institutioner (kommissionen, rådet, parlamentet), Regionkommittén samt Europeiska ekonomiska och sociala kommittén.

Endast ett fåtal EU-direktiv nämns här då reglerna ska vara införlivade i svensk lagstiftning och myndighetsföreskrifter. Ett direktiv innebär att alla medlemsländer måste implementera bestämmelserna i sin nationella lagstiftning. I Sverige innebär det att flera myndigheter behöver ta fram föreskrifter för att direktivet fullt ut ska implementeras.

### 2.3.2 Övergripande om hur EU-rätten ser på vad som är avfall eller återvunnen produkt, samt restprodukt respektive biprodukt

EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EG) syftar till att säkerställa en hög skyddsnivå för miljö och hälsa i samband med avfallshantering. Avfallsregelverket innebär att det ställs frekventa krav med förhandskontroll på avfallsbehandling vilket inkluderar återvinningsförfaranden. Direktivet anger också kriterier till stöd för bedömningar om produkter och material utgör avfall eller inte. Med avfall menas 'ämne eller föremål som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med'<sup>1</sup> och tolkningen av vad som inte är avfall sker restriktivt för att säkra syftet med miljö och hälsa.

EU:s kriterier för när en produkt upphört att vara avfall efter återvinningsförfarande är att den blivit något som ska användas för ett visst ändamål som det finns en efterfrågan och marknad för, att produkten uppfyller regelkrav och att användningen inte leder till allmänt negativa följder för människors hälsa eller miljön<sup>2</sup>. Liknande kriterier uppställs när det inte handlar om ett återvinningsförfarande för att bedöma om en restprodukt (avfall) i stället utgör en biprodukt (inte avfall)<sup>3</sup>. Det ligger på producenten att avgöra om kriterierna är uppfyllda medan myndigheterna utövar tillsyn. Bedömningarna vad som är avfall och inte kan vara mycket betydelsefull för en cirkulär lösning och osäkerheten kring vad som gäller ett stort hinder.

Avloppsvatten kan regleras både i avfallsdirektivet och i specialregleringar. Användningen av avloppsslam i jordbruket regleras i stället av slamdirektivet. Däremot undantar inte dagens avloppsdirektiv annat avloppsvatten från reglerna då dagens avloppsdirektiv inte innehåller skyddsregler för hälsa och miljö (Thames Water Utilities, C-252/05 ; Sappi Austria Produktions, C-629/19)

### 2.3.3 Övergripande EU-lagstiftning till skydd för vattenmiljön

**Ramdirektivet för vatten (2000/60/EC)** syftar till att skydda och förbättra vattenresurserna i Europa och att vattenförekomster uppnår god vattenkvalitet i både kemisk och ekologisk mening. Direktivet anger även regler för täckning av kostnader för vattentjänster. Reglerna utgör en ram för förvaltningen av vattenresurser i EU-länderna och genomförs i Sverige bl.a. genom miljökvalitetsnormer för vatten, vattenförvaltningsförordningen och länsstyrelsernas instruktion. Reglerna påverkar tillståndsgivningen för avloppsreningsverk men även prissättningen på vatten. Tillsammans med **Prioämnesdirektivet (2008/105/EG)** och **Grundvattendirektivet (2006/118/EG)** revideras nu reglerna och listan över särskilda

<sup>1</sup> Avfallsdirektivet EU(2008/98) art 3(1)

<sup>2</sup> Dessa så kallade end-of-waste-kriterier anges i Avfallsdirektivet EU(2008/98) art 6(1)

<sup>3</sup> Kriterierna för biprodukter anges i Avfallsdirektivet EU(2008/98) art 5(1)





ämnen som ska kontrolleras uppdateras med 25 ytterligare ämnen, däribland PFAS, bekämpningsmedlet glyfosat, flera läkemedel, silver och bisfenol A. Vissa gränsvärden av de ämnen som redan regleras skärps också, medan andra ämnen föreslås övergå att kontrolleras endast vid större utsläpp.<sup>4</sup>

Till EU:s samlande vattenreglering hör även **Badvattendirektivet (2006/7/EG)** som ställer krav på rening av avloppsvatten från städer och industrier för att minska förekomsten av bakterier och andra mikroorganismer som kan utgöra en hälsorisk för människor som badar, och **Dricksvattendirektivet (EU 2020/2184)** som syftar till att skydda människors hälsa från alla slags föroreningar i dricksvatten samt att förbättra tillgången på dricksvatten.

**Art- och habitatdirektivet (92/43/EEG) och fågeldirektivet (79/409/EEG)** – Dessa direktiv är hörnstenarna i EU:s reglering till skydd av natur och biologisk mångfald. Av direktiven framgår det att fåglar och utpekade arter samt livsmiljöer inom områden som ingår i Natura 2000-nätverket ska beredas ett särskilt skydd. Målet är att säkerställa att en gynnsam bevarandestatus uppnås för de arter eller livsmiljöer som omfattas av skyddet. Reglerna för att säkerställa detta skydd är införlivade i miljöbalkens sjunde och åttonde kapitel samt i svenska artförordningen.

### 2.3.4 EU-regler om avloppslagstiftning, återvinning och reglering av slamhantering samt förnybar energi

**Industriutsläppsdirektivet (IED)(2010/75/EU)** är den lagstiftning som reglerar utsläpp av föroreningar från större industrier och sätter minimiutsläppsnivåer branschvis genom BAT-slutsatser med utsläppsvärden, vilket bland annat innebär reningskrav på avloppsvatten från verksamheter och reningsverk.

**Avloppsdirektivet (91/271/EEG)** fastställer krav på rening av avloppsvatten från tätbebyggelse. Direktivet definierar vad som är avloppsvatten och anger att renat avloppsvatten om möjligt ska återanvändas (artikel 12.1). En revidering av direktivet avslutades våren 2024 och medlemsstaterna åläggs främja återanvändning av renat avloppsvatten från alla reningsverk där detta är lämpligt, särskilt i områden med vattenstress. Krav på att reningsverken måste energieffektivisera sin verksamhet och använda förnybara energikällor införs stegvis.<sup>5</sup>

**Slamdirektivet (86/278/EEG)** reglerar hanteringen i jordbruket av avloppsslam som biprodukt av avloppsrening i syfte att minimera miljöpåverkan och skydda människors hälsa. Direktivet anger gränsvärden för tungmetaller i slam som sprids på jordbruksmark, dessa värden kan skärpas av nationell lagstiftning. Det anges även gränsvärden för den halt tungmetaller som jorden får innehålla och förbud mot att sprida slam på sådana jordar. Direktivet vill 'uppmuntra en riktig användning' av slammet (art. 1). Uppdateringar av direktivet har diskuterats och inom ramen för New Circular Economy Action Plan genomfördes 2021 en utvärdering av direktivet.

Hösten 2023 släpptes en förstudie utgiven av EU-kommissionen till stöd för framtida utveckling av slamdirektivet. I förstudien presenteras främst två olika inriktningar. Den ena är en utveckling av nuvarande slamdirektiv, men där mål för fosforåtervinning införs och

<sup>4</sup> Miljödepartementet, Faktapromemoria 2022/23:FPM19

<sup>5</sup> [https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/revision-of-the-urban-wastewater-treatment-directive-\(refit\)/report?sid=7901](https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/revision-of-the-urban-wastewater-treatment-directive-(refit)/report?sid=7901)



där kvalitetskraven skärps avseende önskat innehåll. Det andra studerade alternativet i förstudien utgörs av obligatorisk omvandling av slammet till gödselprodukter som är godkända enligt Gödselproduktförordningen (2019/1009/EU), vilket för avloppsfraktioner idag framför allt utgörs av produkter från slamaska, men kan komma att utökas i framtiden. I rapporten vägs fördelar och nackdelar med bägge alternativen. Genomgången omfattar hur risk för hälsa och miljöskydd, metanutsläpp och potential för återanvändning och återvinning av näringsämnen påverkas av de olika förslagen. Rapporten från Joint Research Centre<sup>6</sup> innefattar även en sammanställning av informationsluckor och kunskapsbehov.

**Gödselproduktförordningen (2019/1009/EU)** som gäller sedan sommaren 2022 reglerar de krav som ställs på gödselprodukter för att slappas fria på EU:s inre marknad (CE-märkta). Gödsel som inte uppfyller kraven kan endast användas på den nationella marknaden. Förordningen innehåller bestämmelser om att reglera produktionen, försäljningen och användningen av organiska gödselmedel, inklusive struvit och aska utvunnet från avloppsvatten eller slam. Slam från avloppsrening omfattas ej, inte heller certifierat, varför detta inte kan säljas som gödsel i EU.

**Förnybar-energidirektiv (RED II)** innehåller bestämmelser om att öka användningen av förnybara energikällor, inklusive biobränslen från avfall och restprodukter. I direktivet finns även krav på att främja hållbar användning av biomassa, inklusive slam från avloppsreningsverk. Ändringar är på gång som skärper flertalet mål om användning av förnybar energi.<sup>7</sup>

**Avfallsdirektivet (2008/98/EG)** reglerar hantering och återvinning av avfall och syftar till att säkerställa skydd för miljö- och hälsa samt effektiv användning av resurser. Direktivet anger avfallshierarkin där återvinning av resurser satts som mer prioriterat än utvinning av energi från avfall, vilket i sin tur är mer prioriterat än att avfallet deponeras. Avloppsvatten regleras endast av direktivet i de delar som inte styrs av andra EU-regleringar (och är då avfall). Målen för andel materialåtervunnet avfall skärps succesivt och påverkar ex. biologiskt avfall till att insamlas separat från avloppsfraktionen.

**EU-förordningen om minimikrav på återanvändning av vatten (2020/741/EU)** syftar till att främja en hälsomässigt säker återanvändning av behandlat avloppsvatten vid bevattning inom jordbruk i vid bemärkelse (inkluderar bevattning av energi- och fibergrödor, grönska i städer samt annan växlighet). Förordningen ställer krav på förhandsgodkännande för produktion och tillhandahållande av återvunnet vatten, samt olika minsta kvalitetskrav utifrån användningsområdet och bedömningen av hälsorisker. Dessa minimikrav gäller för alla medlemsländer. Det finns en antagen guide till hjälp att tolka denna EU-reglering.<sup>8</sup> Sverige har ännu inte reglerat hur förordningens krav ska hanteras i det svenska regelverket och Naturvårdsverket har föreslagit att detta sker genom att produktion och tillhandahållande av återvunnet avloppsvatten klassas som tillståndspliktig B-verksamhet i miljöprövningsförordningen.<sup>9</sup>

<sup>6</sup> [Feasibility study in support of future policy developments of the Sewage Sludge Directive \(86/278/EEC\)](#)

<sup>7</sup> <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/03/30/council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-renewable-energy-directive/>

<sup>8</sup> [https://environment.ec.europa.eu/publications/minimum-requirements-water-reuse-guidelines\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/minimum-requirements-water-reuse-guidelines_en)

<sup>9</sup> <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/regeringsuppdrag/slutredovisade-regeringsuppdrag/atgarder-for-ateranvandning-av-vatten/>



## 2.4 Styrdokument, standarder och stöd för ökad återvinning

Det finns flera styrdokument om hållbar utveckling som inkluderar både miljöskydd och resurshushållning, bland andra:

- **Agenda 2030 för hållbar utveckling** - Ett globalt ramverk för att främja hållbar utveckling, inklusive mål 6 som handlar om att säkerställa tillgång till rent vatten och sanitet för alla. Hållbarhetsmålen är inte juridiskt bindande, men de fungerar som en global agenda och en vägledning för åtgärder inom olika områden, inklusive återvinning av vatten. Genom att följa hållbarhetsmålen kan Sverige och andra länder arbeta mot en mer hållbar och cirkulär vattenhantering.
- **EU:s Green Deal och handlingsplan för cirkulär ekonomi** - syftar till att främja återvinning och återanvändning av resurser, vilket kan inkludera återvinning av näringsämnen från avloppsvatten och slam. The Green Deal är en rad initiativ för att göra EU till en klimatneutral kontinent till år 2050. Green Deal innehåller flera åtgärder för att främja cirkulär ekonomi, inklusive återvinning av vatten. EU:s initiativ kan påverka den svenska vattenhanteringen genom att främja användningen av renat avloppsvatten inom vissa områden. Samtidigt betonar EU:s styrning att skyddet för miljö- och vattenföroreningar är starkt.

Utöver detta finns flera nationella styrdokument, standarder och stödsystem som särskilt syftar till att främja hushållning av vatten och återtagande av näringsämnen. De kan vara till hjälp vid utformning av systemlösningar eller ge argument vid processer om ändrade tillstånd eller godkännanden. Exempel på nationella styrdokument:

- **Nationella strategin för klimatanpassning** – Riksdagen antog 2018 en nationell strategi vars övergripande syfte är att stärka det långsiktiga klimatanpassningsarbetet i Sverige. I strategin pekar regeringen särskilt ut brist i vattenförsörjningen för enskilda, jordbruk, och industri som områden att arbeta med. Arbetet med den nationella anpassningen regleras genom förordning om myndigheters klimatanpassningsarbete. Enligt förordningen har nationella myndigheter och länsstyrelserna skyldighet att initiera, stödja och utvärdera arbetet med klimatanpassning.
- **Svenskt Vattens strategi för återbruk av vatten**, som syftar till att öka användningen av återanvänt vatten i Sverige. Strategin innehåller mål, handlingsplaner och rekommendationer för att främja återbruk av vatten i Sverige.
- **Biogas 2020** - Nationellt program för att främja produktion av biogas från avfall och avlopp.
- **Värmepumpsanvisningar från Boverket** - Innehåller råd och rekommendationer för användning av värmepumpar i fastigheter.

Några standarder som stödjer hushållning av vatten och återtagande av näring:

- **Revaq certifiering** - som syftar till att säkerställa en hög kvalitet på återvunnen fosfor från avloppsvatten och slam. Certifieringen omfattar hela processen från avloppsvatten till färdig produkt och ställer krav på bland annat produktionsanläggningar, hantering, transport, lagring och markanvändning. Revaq är främst relevant för producenter av återvunnen fosfor, men kan också ha betydelse för kommuner och organisationer som planerar eller genomför återanvändning av avloppsvatten eller slam. Att använda Revaq-certifierat



återvunnen fosfor kan innebära en ökad säkerhet och trygghet för slutanvändaren, samtidigt som det främjar en cirkulär ekonomi och minskar behovet av utvinning av nya fosforresurser. Revaq-certifiering är dock inte ett lagstadgat krav eller en del av något regelverk, utan en frivillig standard som kan användas som ett verktyg för att säkerställa kvaliteten på återvunnen fosfor. Från och med 2024, kommer Revaq-certifieringen även att inkludera avloppsvatten och slamkol. Revaq innehåller även gränsvärden för metallinnehåll för slam avsett för tillförsel till jordbruksmark utöver de lagstadgade spårelementen.

- EU har också tagit fram en **standard för biokol**, EN 16440, som anger kvalitetskrav på biokol som används i jordbruket. Denna standard används som en rekommendation och är inte lagstadgad, men kan ändå användas som en referens för kvaliteten på biokol. Det finns också andra regelverk som kan påverka användningen av biokol beroende på vad det används till, till exempel regler kring användning av biologiska bekämpningsmedel och gödselmedel.

Några nationella stödsystem som stödjer hushållning av vatten och återtagande av näring:

- **Energimyndighetens föreskrifter och allmänna råd om statligt stöd till produktion av biogas** - Innehåller regler och riktlinjer för att främja produktion av biogas från avfall och avlopp.
- **Elcertifikatsystemet** - Syftar till att främja produktion av förnybar el och ger elproducenter intäkter genom försäljning av elcertifikat.
- **Greppa näringen** – erbjuder kostnadsfri rådgivning och beräkningsverktyg för hållbar växtnäring till jordbruk. Jordbruksverket, LRF, länsstyrelserna och flera olika rådgivningsorganisationer i Sverige står bakom initiativet.

## 3 Goda exempel i Sverige

Här redogörs för några rättsfall som visar på hur cirkulära lösningar hittat en väg genom rättssystemet. Mot bakgrund av flera fall där domstols- och myndighetsbeslut stoppat föreslagna lösningar är det viktigt att även se exempel som hittat en väg framåt med befintliga regler.

### 3.1 Göteborg med Gryaab samt Northvolt och Volvo Cars

Gryaab planerar att kunna leverera tekniskt vatten till den batterifabrik som Northvolt och Volvo Cars bygger i Torslanda i Göteborg. Det är renat avloppsvatten som kommer att användas för kylning i tillverkningsprocessen på batterifabriken.

Det uppvärmda tekniska vattnet återförs till Ryaverket för eventuell ytterligare värmeväxling och släpps sedan ut i ordinarie utloppsledning med övrigt utgående vatten från Ryaverket. Miljöbalksprövningen av processen är pågående och dom har inte fastställts av mark- och miljödomstolen än. Utöver denna planerade användning används energin i Ryaverkets utgående avloppsvatten genom att det passerar värmepumpar i Göteborgs Energis fjärrvärmeanläggning. Där tas överskottsvärmen om hand och går ut i fjärrvärmenätet.



### 3.2 Sotenäs med Orkla m.fl. och Renahav

Renahav renar fiskeindustriernas processvatten från näringsämnen, som tillsammans med andra organiska rester går till biogasverk. KRAV-godkänd gödning levereras till det lokala jordbruket och biogasen ersätter fossil gasol hos Orkla.

### 3.3 Mörbylånga kommun och Guldfågeln

I Mörbylånga har kommunen byggt ett nytt vattenverk där havsvatten avsaltas och renas till dricksvatten. Även Guldfågeln processvatten tas omhand och renas i denna anläggning för att åter kunna användas som dricksvatten.

### 3.4 Helsingborgs kommun Oceanhamnen sortering direkt ut ur hushållen

I Helsingborgs nya stadsdel Oceanhamnen används ett nytt storskaligt system där de tre avfallsströmmarna matavfall, svartvatten och gråvatten separeras i tre olika rör direkt vid uppkomst. Det är mer än 2 000 hushåll och kontor som använder systemet och området är först ut i världen med konceptet "tre rör ut". I Oceanhamnens kök leder en avfallskvarn i diskhon matavfall till ett rör. Vakuumpoletter leder toalettavfall till ett annat rör. Det tredje röret samlar upp vatten från dusch, bad och tvätt och använder vattnets värme efter behov till att värma hushållet innan det följer de andra två rören till en behandlingsanläggning i närheten. Behandlingsanläggningen samlar upp näringsämnen och organiskt material för produktion av biogas och certifierat biogödsel. Anläggningen samlar också upp resterande värme från gråvattenströmmen för att värma fler hem, innan det minimalt kvarvarande avloppsvattnet från de tre strömmarna går vidare till reningsverket. Detta minskar också växthusgasutsläppen med mer än 50 % jämfört med det tidigare systemet. Samtidigt minskar energi- och vattenförbrukning samt avfall till en minimal volym.

### 3.5 Stenungsunds kommuns avloppsreningsverk och Perstorp Oxo AB:s kylvattenbehov

Ansökan om ändringstillstånd enligt 16 kap. 2 a § miljöbalken vid Perstorps Oxo AB:s anläggning i Stenungsunds kommun. Mark- och miljödomstolen ger Perstorp Oxo AB tillstånd att vid bolagets anläggning i Stenungsund använda renat avloppsvatten från Strävlidens avloppsreningsverk (kommunalt) som kylvatten. Tillståndet omfattar en rätt att utföra, för den ansökta verksamheten, erforderliga anläggningar och installationer samt modifieringar av befintliga anläggningar och installationer (MD TVB M 3859–21 2022-05-03). Länsstyrelsen har bedömt att ingen ändring behövs av tillståndsbeslutet för Strävlidens avloppsreningsverk, då det nu något uppvärmda kylvattnet återgår till Strävlidens utloppsledning och således släpps ut i samma utsläppspunkt och med samma innehåll av näringsämnen, organiskt material och eventuella miljögifter som ordinarie utgående avloppsvatten från Strävlidens avloppsreningsverk.

### 3.6 Lysekils kommuns avloppsreningsverk och musselodling

I beslut den 2 juni 2004 (dnr 551-63313-2002) lämnade miljöprövningsdelegationen i Länsstyrelsen i Västra Götalands län Lysekils kommun tillstånd till rening av avloppsvatten från högst 45 000 personekvivalenter i avloppsreningsverket Långevik. I beslutet föreskrevs vidare att tillståndet omfattar även odling av blåmusslor som ett alternativ till traditionell



kvävereduktion i avloppsreningsverket. I det aktuella tillståndsärendet var prövningen mycket omfattande och komplicerat, särskilt med tanke på avsteget från ordalydelsen i avloppsvattendirektivet (91/271/EEG). Tillståndet att anlägga musselodlingar gäller endast under en prövotid och syftet är att utröna om odling av musslor kan vara ett godtagbart alternativ till traditionell kväverening. Det ska bland annat redovisas vilka intressekonflikter som finns med friluftsliv, yrkesmässigt fiske och båttrafik och vilka åtgärder som vidtas för att begränsa dessa konflikter. Exempel på andra redovisningar avser kväveborttagets storlek vid skörd av musslor och att tydliggöra odlingarnas påverkan av vattenområdet i dess närhet. Enligt villkor U1 ålades kommunen att ta i drift anläggningar för odling och skörd av musslor, initialt motsvarande ett kväveborttag på minst 39 ton per år. Delegationen meddelade vidare provisoriska föreskrifter. Av handlingarna framgår att det totala utsläppet av kväve från reningsverket bedöms till 39 ton, vilket skulle motsvara en årlig odling av 3 500 ton musslor. Trots att prövotiden är avslutad sedan många år och musselodlingen av flera orsaker inte fungerande ser vi beslutet om prövotid i ärendet som ett positivt exempel på hur "nyheter" kan få testas.

### 3.7 Enskilda avlopp och kretsloppspotential

Det finns en rad rättsfall som rör enskilda avlopp och anläggningar med hög kretsloppspotential. I ett par av målen framför HaV i sina yttrande inför dom hos Mark- och miljööverdomstolen (MÖD) att minireningsverk inte uppfyller miljöbalkens krav på en kretsloppsanpassad lösning. HaV delar den kommunala nämndens bedömning och anser att ansökan ska avslås eftersom anläggningen inte uppfyller miljöbalkens krav på en kretsloppsanpassad lösning. Detta trots att anläggningen bedöms nå upp till kraven på hög skyddsnivå. Detta gäller för MÖD Domar i Mål nr M 5910–16, M 5911–16, M 5802–16, M 4515–15 samt M 2827–16. Vid en sammantagen bedömning i ett annat mål finner MÖD att den sökta avloppsanläggningen, ett minireningsverk, är olämplig på platsen och att tillstånd därmed inte ska ges till den. Mot bakgrund av det återföringssystem som finns i kommunen har MÖD bedömt att fastighetsägaren inte har visat att det är oskäligt att källsortera i det aktuella huset. Kommunens krav på källsortering och återföring finns reglerat i miljöbalken och det kan inte upphöra att gälla. (MÖD Dom i Mål M 2827–16.)

### 3.8 Exempel på pågående prövningsprocesser i Sverige

#### 3.8.1 Ragn-Sells Ash2Phos fosforåtervinning

Ragn-Sells innovationsbolag EasyMining har utvecklat tekniken Ash2Phos, som utvinnet över 90 procent av fosfor ur askan från förbränt avloppsslam. Samtidigt avskiljs föroreningar. Ragn-Sells har för avsikt att bygga den första storskaliga Ash2Phos-anläggningen på kemiföretaget Kemiras industripark i Helsingborg, i samarbete med Kemira. Projektet har tilldelats 51 miljoner kronor från Klimatklivet, Sveriges satsning på innovation som minskar klimatutsläpp. Mark- och miljödomstolen i Växjö avslag ansökan om tillstånd trots konstateranden om att satsningen innebär stor klimatnytta och menade att även om miljöpåverkan skulle bli försumbar innebär miljö kvalitetsnormerna för vatten att inga utsläpp alls tillåts. Ragn-Sells har överklagat domen (MD TVX Mål nr M 3275-20 2021-12-14). I oktober 2023 slog Mark- och miljööverdomstolen (MÖD) fast att den planerade verksamheten med Ash2Phos-anläggningen inte försämrar eller äventyrar möjligheten att uppnå miljö kvalitetsnormerna för vatten och Ragn-Sells har således fått bifall i MÖD. Nu kommer fallet att återupptas i mark- och miljödomstolen i Växjö där villkor för processen ska fastställas.



## Delsyntes 4a: Acceptans

Denna delsyntes syftar till att ge en överblick gällande acceptansen för återanvändning och återvinning av vatten, växtnäring, energi och andra resurser från avlopp.

Delsyntesen inleds med en kortfattad beskrivning av vad som avses med acceptans och hur acceptans är relevant på flera nivåer. Därefter presenteras projektgruppens samlade bedömning och slutsatser. Avslutningsvis presenteras det underlag som projektgruppens bedömning bygger på för respektive resurs såsom vatten, växtnäring, energi och andra resurser. Projektgruppen har främst utgått från erfarenheter utifrån en nationell kontext. I de fall där svenska erfarenheter saknas, inkluderas internationella erfarenheter. Den primära målgruppen för informationen är svenska myndigheter.

Nedanstående frågeställningar adresserats i denna delsyntes:

- Hur är acceptansnivån i Sverige för återanvändning av olika resurser från avloppsströmmar?
- Hur är acceptansen i andra länder och kan vi överföra några av dessa erfarenheter till Sverige?
- Hur förväntas acceptansnivån ändras i framtiden?
- Hur påverkas acceptansnivån vid brist på resurser (vatten, näring, energi eller andra resurser samt handlingsberedskap vid förändrade omvärldssituationer)?

### Innehåll

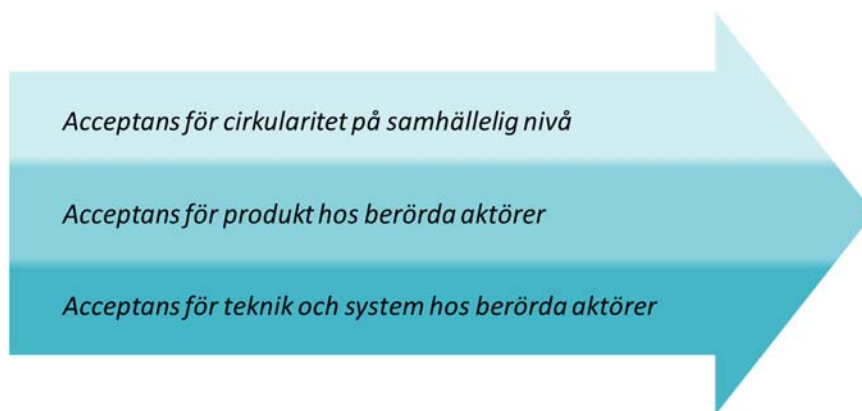
1	Acceptans för återanvändning och återvinning av resurser från avlopp.....	2
2	Projektgruppens samlade bedömning.....	2
3	Vatten.....	5
3.1	Återvändning av gråvatten .....	5
3.2	Återanvändning av efter centraliserad uppsamling och behandling .....	7
3.3	Indirekt återanvändning till dricksvatten .....	8
3.4	Direkt återanvändning till dricksvatten .....	9
3.5	Sammanfattning och utblick .....	10
4	Näringsämnen .....	11
4.1	Återanvändning av näringsämnen via källsorterade fraktioner .....	13
4.2	Återanvändning av näringsämnen via slamspridning .....	14
4.3	Återvinning av näringsämnen från rejektivatten och andra högkoncentrerade avloppsfraktioner.....	16
4.4	Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam.....	17
4.5	Sammanfattning och utblick .....	18
5	Energi.....	20
6	Andra resurser.....	21
7	Referenser.....	23



# 1 Acceptans för återanvändning och återvinning av resurser från avlopp

Acceptans handlar om att ta till sig något, vilket kan förklaras som ett godkännande av en förändring. Wood et al. (2016) använder begreppen uppfattningar och tilltro för att förklara acceptans och kopplar även ihop acceptans med attityder. Dessutom är social acceptans en förutsättning för social hållbarhet, eftersom det inte är möjligt att implementera lovande teknik om den avvisas av samhället (Wood et al., 2016).

När man diskuterar acceptans är det viktigt att definiera vems acceptans som avses. För att uppnå en god acceptans för återvinning och återanvändning av resurser ur avlopp krävs acceptans på flera nivåer (Figur 1). På en övergripande samhällsnivå handlar det om en acceptans för cirkularitet som koncept. Detta kopplar till att policys, lagstiftning och samtalsklimatet förordar ökad cirkularitet. Här blir även produktspecifika lagstiftningar också relevanta då de lägger grunden för såväl tillämpning som till stor del acceptansen för produkter och system. På en produktnivå behöver de aktörer som kommer i kontakt med de återvunna eller återanvända produkterna acceptera dessa. Acceptansen för produkten är relevant hos alla berörda aktörer, såväl producenter som konsumenter i olika led. Utöver acceptans för själva produkten som återanvänds eller återvinns behöver systemet och tekniken som möjliggör återanvändningen eller återvinningen accepteras. Detta rör både de som sköter driften av tekniken och äger den samt de som kommer i kontakt med systemlösningen i exempelvis bostaden.



Figur 1: Acceptans på flera nivåer

## 2 Projektgruppens samlade bedömning

Även om acceptansfrågan till viss del är kontroversiell bedöms acceptansen i Sverige för återanvändning och återvinning av resurser på ett övergripande plan som hög och ökande på grund av samhällets generella riktning mot ökad cirkularitet. Det motstånd som finns mot återanvändning och återvinning av resurser från avlopp kopplar i huvudsak till hälsofrågor och eventuella oönskade ämnen i återvunna resurser. Detta motstånd återfinns hos vissa aktörer på alla nivåer i Figur 1. Även om frågan till viss del är kontroversiell finns det acceptans i samhället för återanvändning och återvinning av resurser från avlopp. Detta exemplifieras av att vi idag nyttjar resurser ur avlopp via att sprida slam, producera biogas, delvis återvinning av värme och i ökande grad återanvänder renat vatten.





Acceptansen hos konsumenter för återanvända och återvunna produkter kan kopplas till hur långt den återvunna resursen befinner sig ifrån obehandlat avlopp och hur produktifierad den är. Det finns därigenom en avvägning mellan de kostnader och den miljöpåverkan som fler processteg innebär och den ökade acceptansen hos konsumenter som kan åstadkommas med dessa tillkommande processer. Konsumenternas acceptans kan i sin tur påverka producenters vilja och acceptans att installera tekniker för återanvändning och återvinning. Dock kan konstateras att även om acceptans kan vara en väldigt viktig faktor är den inte alltid strikt nödvändig om behov eller regelverk kräver en viss implementering. Acceptans styr heller inte beslutsfattande hos berörda myndigheter i de fall där regelverk tydligt stipulerar vad som gäller, till exempel godkännande av slamspridning som uppfyller de regelverk som finns för detta. Dålig lokal acceptans kan dock påverka slamproducenten och en möjlig slammottagare till att välja en annan lösning.

En annan viktig aspekt är också hur konsumentnära en livsmedelsproducent arbetar. Medan större producenter som till exempel levererar sin spannmål till grossist behöver grossisternas acceptans av gödselmedlet, gäller för producenter med huvudsaklig direktförsäljning till konsument en acceptans direkt av livsmedelskonsumenten som ska köpa produkten. Effekten blir att produktanvändaren (exempelvis den jordbrukare som återanvänder behandlat vatten eller slam) har en möjlighet att berätta om den återanvändning som sker direkt till konsument, men också att denna är direkt beroende av att detta accepteras av konsumenten. Här är, som i så många andra fall, begripliga och välutformade lagstiftningar av största vikt för producenten att kunna stödja sig mot och använda i sin kommunikation.

Projektgruppens bedömning är att det finns en stor vilja hos många VA-organisationer att arbeta för en mer cirkulär hantering av resurser från avlopp. Det finns inte en konsensus kring vilken eller vilka tekniker och system som utgör den optimala lösningen. Acceptans för teknik och system hos VA-organisationer kopplar starkt till lagar, uppdrag och teknisk gångbarhet. Underlaget gällande acceptansen hos andra systemanvändare är knapphändig, men det finns flera referensprojekt som indikerar att acceptansen är relativt god för återanvändning och återvinning av resurser ur avlopp till vissa tillämpningar. Dock är frågan omstridd och det finns aktörer som har stora invändningar mot viss återanvändning och återvinning ur avlopp. Att fortsätta öka kunskapen om återvunna produkters innehåll och egenskaper är viktigt för att kunna öka och upprätthålla acceptans. Vid ovisshet om acceptansläget kan rädslan för att en viss produkt inte ska accepteras utgöra ett större hinder än själva bristen på acceptans.

Projektgruppen bedömer dessutom att acceptansen för återanvändning av resurser från avloppsvatten kommer öka i framtiden. Detta beror till stor del på ett ökat behov av resurser på grund av flera faktorer, bland annat:

- Klimatförändringen förväntas leda till en ökad brist på vatten i vissa regioner. Återanvändning av vatten kan bidra till att minska denna brist.
- Marknaden för näringsämnen är beroende av en rad omvärldsfaktorer och priset varierar stort. Som ett steg i ökad resiliens och minskade klimatutsläpp blir inhemsk växtnäringproduktion en viktig pusselbit.
- Ökad insikt om behovet av lokal beredskap och resiliens ökar behovet av flera resurser ur avlopp.



- Grön omställning och elektrifiering ser ut att leda till ökad konkurrens om el. Att nyttja energin från avlopp via exempelvis produktion av biogas och värmeåtervinning kan utgöra ett komplement till en hållbar energiförsörjningen.
- Teknisk utveckling har gjort det möjligt att rena avloppsvatten till en högre kvalitet. Detta gör att det återvunna vattnet blir säkrare för hälsan och kan användas för fler ändamål. Den tekniska utvecklingen för återvinning av till exempel växtnäring och energi, men även andra resurser har resulterat i tekniker som ger en högre acceptans av de framtagna resurserna.
- Ökad kunskap om behovet av återanvändning av tillgängliga resurser, både med hänsyn till en cirkulär och hållbar samhällsutveckling, samt nationella intressen till ökad självförsörjning med viktiga resurser med mera.
- Utveckling och exempel från andra delar av världen visar högre acceptans för återanvändning av resurser från avloppsvatten jämfört med Sverige, vilket ofta beror på större brist på dessa resurser eller andra incitament.

För att förbättra acceptansen för återanvändning av resurser från avlopp i Sverige bedömer projektgruppen att följande aktiviteter blir särskilt viktiga att fokusera på:

- Lagstiftning och policyincitament som underlättar och legitimerar återvinning och återanvändning av resurser från avlopp. Till exempel skulle nationella mål för återvunna resurser ur avlopp kunna få effekt och användas brett, även i utbildningssyfte.
- Ordval och beskrivning: Även om beteckningar för återvunna resurser såsom återvunnet vatten, renat vatten, slamgödsel etcetera är korrekta utifrån en teknisk beskrivning bör fokus vid återanvändning riktas mot slutprodukten genom användningen av beteckningar såsom rent vatten, biogödsel, ren energi etcetera för att öka acceptansnivån.
- Fokusera på produktens kvalitet, istället för dess ursprung
- Ökad kunskap och information: Det är viktigt att öka kunskapen om återanvändning av resurser från avlopp, både bland allmänheten, VA-samhället och bland beslutsfattare och myndigheter. Emotionella faktorer bör tas seriöst och bemötas med både upplysning och praktiska lösningar.
- Säkerhet och kvalitet: Det är viktigt att säkerställa att återanvändning av resurser från avloppsfraktioner sker på ett säkert sätt. Detta kan göras till exempel genom att utveckla och implementera verktyg för att utvärdera risker med produkterna. Detta kan eventuellt kompletteras med märkningar eller certifieringar .
- Förebilder: Det är viktigt att visa att återanvändning av resurser från avloppsvatten är möjligt och genomförbart. Detta kan göras genom att lyfta fram exempel från Sverige och andra delar av världen, där återanvändning av resurser från avloppsvatten görs med framgång.
- Korrekt prissättning av resurser: Idag omfattar t.ex. vattenpriset endast kostnader för att pumpa, rena och leverera vatten samt hantera spillvattnet medan vattnet och den faktiska miljöpåverkan som orsakas inte prissätts. Med detta kan lösningar för återvinning och återanvändning sällan få en acceptans utifrån ekonomiska aspekter. En mer realistisk prissättning av resursbruk för vatten, näring och andra resurser skulle dock lägga grunden för en ökad acceptans även utifrån kostnadsperspektivet.

Det kan vara viktigt att poängtera att det ofta inte är själva tekniken som kräver ökat engagemang för att få acceptans, utan det övergripande systemsiftet.



## 3 Vatten

Hur allmänheten accepterar återanvändning av vatten beror på vad det återvunna vattnet ska användas till vilket bl.a. visas i en nyligen publicerat studie från Spanien (Toja 2024). Acceptansnivån för återanvändning av vatten påverkas även av hur själva produkten som återanvänds betecknas, något som visas av Ellis et al. (2019). Al-Saidi (2021) tillhandahåller en syntes av många olika undersökningar kring acceptans av vattenåteranvändning och drivande faktorer. Problematiken beskrivs bland annat av att en generell acceptans för återanvändning av vatten inte behöver betyda att acceptansen också finns när man själv ska använda återvunnet vatten. Just för återanvändning av vatten påverkas acceptansen av vilka riskerna som kan finnas för folkhälsa och säkerhet, som i sin tur kan påverkas av olika behandlingstekniker och barriärer (Abou-Shady et al., 2023). Även kunskap och medvetenhet kring återanvändningen spelar en stor roll för acceptansen och vilka regulatoriska stöd som finns i form av lagar och förordningar (Tzanakakis et al., 2023). Hur den offentliga debatten om olika tekniska lösningar inklusive återanvändning av vatten förs kan också påverka acceptans som en studie från Öland och Gotland visar (Takman et al., 2023a). Fernandes och Cunha Marques (2023) redovisar i sin genomgång av många återanvändningsstudier att även den ekonomiska aspekten påverkar acceptansnivån.

I Delsyntes 2a: Vatten diskuteras olika sätt att återanvända vatten från avloppsvatten. Dessa är återvändning av gråvatten, återvändning av renat spillvatten som tekniskt vatten och för bevattning, indirekt återanvändning till dricksvatten, och direkt återanvändning till dricksvatten. I avsnittet nedan kommer acceptans att diskuteras utifrån dessa användningsområden.

### 3.1 Återvändning av gråvatten

Det finns få praktiska erfarenheter från Sverige av återanvändning av gråvatten. Projektgruppen kan konstatera att en gråvattenåteranvändning för exempelvis toalettspolning utan att vattnet har renats från alla föroreningar har en låg acceptans bland förespråkare av källsorterade system. Detta på grund av risken för att föroreningar i gråvattnet hamnar i svartvattenfraktionen som ska nyttjas till näringsåterföring. Om svartvattenfraktionen inte ska användas för näringsåtervinning eller vid användning av endast "rena" gråvattenfraktioner (som gråvatten från dusch) bör denna utmaning dock vägas mot fördelarna med gråvattenåteranvändning. I San Francisco är det exempelvis sedan 2022 krav att alla nya byggnader över 9 000 m<sup>2</sup> behöver tillgodose sitt spolvattenbehov (offentliga och kontorsbyggnader) och i tillägg bevattnings- och tvättvattenbehov via återanvändning av gråvatten<sup>1</sup>.

I HSB Living Lab i Göteborg undersöks bland annat att återanvända gråvatten från bad, disk och tvätt i bostadshuset för återanvändning i duschar och handfat. Vattnet behandlas med flera tekniker och uppnår innan återanvändning en kvalitet som anses tillräckligt för dessa ändamål. Just vilken kvalitet som är godkänt och vem som eventuellt behöver godkänna detta är dock oklart. Projektet i Göteborg har pågått sedan 2019 och drivs i ett flerfamiljshus med studentboende. En potentiell utmaning som identifierades för projektet innan det påbörjades handlade om användaracceptansen. HSB Living Lab menar dock att detta aldrig varit något problem. En förklaring har varit att de boende är väl medvetna om att de deltar i ett utvecklingsprojekt och det faktum att tekniken kan resultera i besparing på vatten och på energi,

<sup>1</sup> Article 12C of the San Francisco Health Code

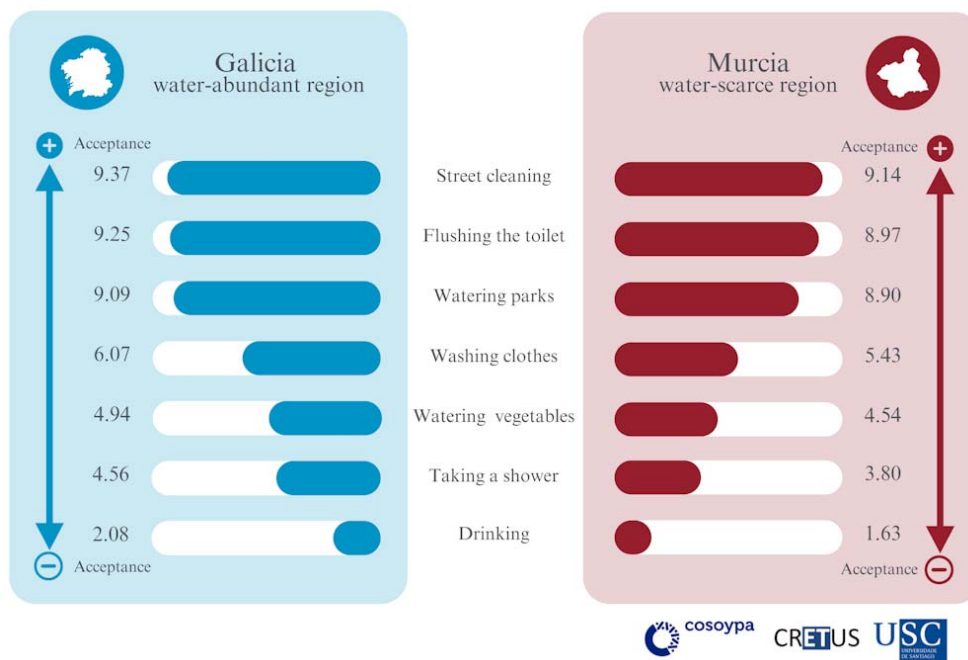
<https://sfgov.legistar.com/View.ashx?M=F&ID=9881377&GUID=EFAA6466-0612-4712-9FE4-3B51CF4E584C>



har varit motiverande för deltagarna i flerbostadshuset<sup>2</sup>. Detta beskrivs i en undersökning som förutom HSB Living Lab i Göteborg även inkluderade Settle i USA (Wallin et al., 2021). Acceptans uppnås enligt studien genom faktiska installationer som demonstrator för teknikens tillförlitlighet, öppen dialog med användarna och ekonomiska fördelar som en grävattenåteranvändning kan innebära.

I ett examensarbete från 2019 (Olsson, 2019) undersöktes attityder kring återanvändning av grävatten och faktorer som eventuellt kan påverka dessa. Det övergripande resultatet visade att individer i allmänhet var positiva till att återanvända grävatten och att de kunde tänka sig att engagera sig i projekt rörande grävatten. Den negativa inställningen som till viss grad observerades, handlade om vilka konsekvenser återanvändningen kunde ge, d.v.s. huruvida miljön påverkades negativt eller ej. Hur vattnet återanvändes spelade också roll för graden av acceptans. Om grävattnet hade låg mänsklig kontakt vid återanvändning, var acceptansen högre jämfört med om grävatten återanvänds till dricksvatten (Olsson, 2019).

Toja (2024) visade att acceptansnivåerna för återanvändning av grävatten är likartade i spanska områden trots olika nivåer av vattentillgänglighet. Oavhängig av vattentillgängligheten påverkas acceptansen mest av kontaktytan mot det återvunna vattnet, alltså hur hotade människor känner sig av det återvunna vattnet (Figur 2). Trots att behandlingsprocesserna kan garantera att vattnet har blivit helt renat – till den grad att det är lika säkert som vanligt kranvatten – känner sig folk fortfarande oroliga över att det kan vara skadligt. Därför leder ökad kontakt med vattnet till en ökad uppfattning om risk, vilket drastiskt minskar acceptansen.



Figur 2. Acceptansnivåerna för återanvändning av grävatten i en av Europas mest regnriska regioner (Galicien) och en av dess torraste (Murcia) (Toja 2024).

<sup>2</sup> <https://vaguiden.se/2021/01/exempel-pa-vattenbesparing-ateranvandning-av-gravatten-i-hsb-living-lab-i-goteborg/> besökt april 2023



### 3.2 Återanvändning av efter centraliserad uppsamling och behandling

I Sverige finns flera olika exempel på hur en implementering för återvunnet tekniskt vatten i fullskala kan fungera:

- Utgående avloppsvatten från ett reningsverk i Landskrona används som bevattningsvatten av parkförvaltningen.
- Bland golfklubbar som använder kommunalt renat avloppsvatten kan nämnas Loftahammar, Emmaboda och Norrtälje golfklubb.
- På Gotland bevattnas jordbruksmark med behandlat avloppsvatten från tätorterna Roma, Hemse och Stånga, vars anläggningar drivs av Region Gotlands VA-avdelning.
- På Östergarnslandet, Gotland, lagras renat avloppsvatten och används för bevattning i samverkan med det privata VA-bolaget som ägs av fastighetsägare och en lokal lantbrukare.
- I Heby kommun användes renat avloppsvatten till att bevattna timmer vid Setra timmerupplag då det sommaren 2018 blev ont om vatten i den vattenresurs, Arnebobäcken, som vanligen används för att bevattna timret. Vattnet samlades efter användning upp i bevattningsdammar och användes sedan till att bevattna energiskog i anslutning till sågverket (Setra, 2018).

Enligt Projektgruppens kännedom har ingen av ovan nämnda användningsområden rapporterat om utmaningar eller problem kopplat till acceptans. I det fall som en återanvändning av renat spillvatten inte godkänns är det vanligtvis inte kopplat till en acceptansproblematik utan exempelvis regelverk eller tillstånd. I Simrishamn finns en önskan om att öppna en vattenkiosk för att möjliggöra användning av återvunnet vatten för bevattning men detta är inte godkänt av Länsstyrelsen då det efter användning kan innebära att vattnet leds ner i en annan recipient än den tillståndsgivna. Takman et al. (2023b) har i samband med en annan fullskaleinstallation i Simrishamn kommun undersökt hur kvalitén av det renade vattnet motsvarar olika reningskrav för olika återanvändningsriktlinjer, dock utan att direkt beröra acceptansnivån.

Gullberg et al. (2023) undersökte allmänhetens acceptans till återanvändning av vatten i ett område utan historiska vattenproblem (Knivsta) och visade att över 80 % hade en positiv inställning till användning av återvunnet vatten. Studien avslöjade nyanserade samband mellan allmänhetens acceptans och uppfattningar om vattenåtervinning. Acceptansen var också relaterade till hur väl de stämde överens med en miljöinriktad världsbild och värderingar.

Gotlands återkommande vattenbrist, tillsammans med hög belastning under sommartid, har medfört att regionen sedan länge har arbetat med hushållning av resursen vatten. Renat avloppsvatten har använts för bevattning sedan 1980-talet och benämns som Gotlandmodellen (Tekniska nämnden Gotland, 2005). Det arbetas aktivt med acceptans av vattenåtervinning på ön och år 2015 flyttades fokus från att spara på dricksvatten, till att vatten är en hållbarhetsfråga. Invånare bjöds in i arbetet, med bland annat undervisning i skolorna, kommunikation med fastboende och besökare, samt information om vattenrening och återkoppling i en enkät om acceptans för återanvändning av renat avloppsvatten. Efter de genomförda informationsinsatserna ökade acceptansen<sup>3</sup>.

Europaparlamentet och rådet har fastställt en förordning gällande minimikrav för återanvändning av avloppsvatten för bevattning som delas in i olika klasser (A, B, C och D), med

<sup>3</sup> Peter Daun, Kommunikatör på Region Gotland. Personlig kontakt 2023-06-16



olika kvalitetskrav beroende på vad som ska bevattnas (Europaparlamentet, 2020). Regelverket är även införlivat i svensk lagstiftning som träder i kraft den 2:a juni 2024. Även Revaq certifieringssystem (SPCR 167) som regleras av Svenskt Vatten omfattar återvunnet vatten i sin certifiering. För att avloppsreningsverk som är Revaq-certifierade ska kunna använda renat spillvattnet för bevattning av åkermark ska vattnet, utöver att uppfylla EU:s kvalitetskrav enligt ovan, ha genomgått läkemedelsrening (s.k. avancerad rening) (Svenskt Vatten, 2023a). Det är för tidigt att säga något om acceptansen för detta, då kunskapen om acceptans av Revaq-certifierat avloppsvatten kommer först efter implementering. Det finns dock en generell efterfråga på denna produkt. Arbetet enligt Revaq-certifieringen av har bidragit till att minska halterna av oönskade ämnen i avloppsslam vilket har visat ge en högre acceptans för återföring av näringsämnen till jordbruket via slamspridning vilket troligtvis kan förklaras med att det sker ett mer rigoröst uppströmsarbete idag för att minska antalet oönskade ämnen och att transparensen är större.

### 3.3 Indirekt återanvändning till dricksvatten

En av de första omfattande pilotstudierna i Sverige kring reningssystem för återvinning av avloppsvatten för olika ändamål inklusive industriell invändning, bevattning och återföring till grundvatten för indirekt återanvändning till dricksvatten, har visat att det är både kostnads- och resurseffektivt att återvinna spillvatten (Baresel et al., 2015). Projektet resulterade i flera nyhetsinslag och kommentarer som mottogs av projektets medlemmar dominerades av en skepsis kring varför vi i Sverige överhuvudtaget ska se på möjligheten till återvinning av vatten. Acceptansnivån upplevdes som mycket låg för en återanvändning av vatten i Sverige, även om acceptansnivån för en återanvändning av vatten generellt, alltså i andra delar av världen som projektet också inkluderade, fanns. Att många kommuner och VA-organisationer knappt 10 år senare har börjat att definiera återanvändning av vatten, åtminstone delvis, som viktiga verksamhetsmål kan sannolikt indikera att acceptansnivån och/eller behovet har ökat avsevärt.

Tillsammans med flera aktörer genomförde Simrishamns kommun ett projekt vid Stengårdens reningsverk som handlade om att implementera ett avancerat reningssteg vid reningsverket med målet att på sikt kunna återanvända det renade vattnet bl.a. till grundvattenåterföring för att säkra vattentillgångar under torrperioder. Som ett led i att öka acceptansen för återvunnet vatten utvärderades anläggningens prestanda även med avseende på det behandlade vattnets kvalitet för återvinning via konstjord infiltration (Ekengren et al., 2020). En återföring av vattnet till grundvatten har dock inte implementerats än och acceptansnivån för denna lösning således inte kunnat undersökas. Pathiranage et al. (2024) och relaterade studier som nämns i undersökningen visade dock att en återvändning av renat spillvatten till återföring till grundvatten är en av de återvändningsalternativ som får hög acceptans i de regioner i världen som undersökningar har genomförts.

Inom Testbädd Storsudret<sup>4</sup>, som arbetar för en hållbar vattenförsörjning, pågår pilotförsök med membranfiltrering av avloppsvatten, som inte har förbehandlats med konventionell biologisk rening. Projektet ska undersöka om en återvinning av vatten kan ske decentraliserat, där avloppsvattnet uppkommer och behövs, i stället för att behandlingen sker centraliserat i anslutning till ett stort reningsverk. Det decentraliserade systemet består av en förbehandling med trumfilter och ultrafiltrering som följs av omvänd osmos. I en framtida applikation är tanken att det renade vattnet infiltreras lokalt till grundvattnet eller förs till en närbelägen ytvattentäkt.

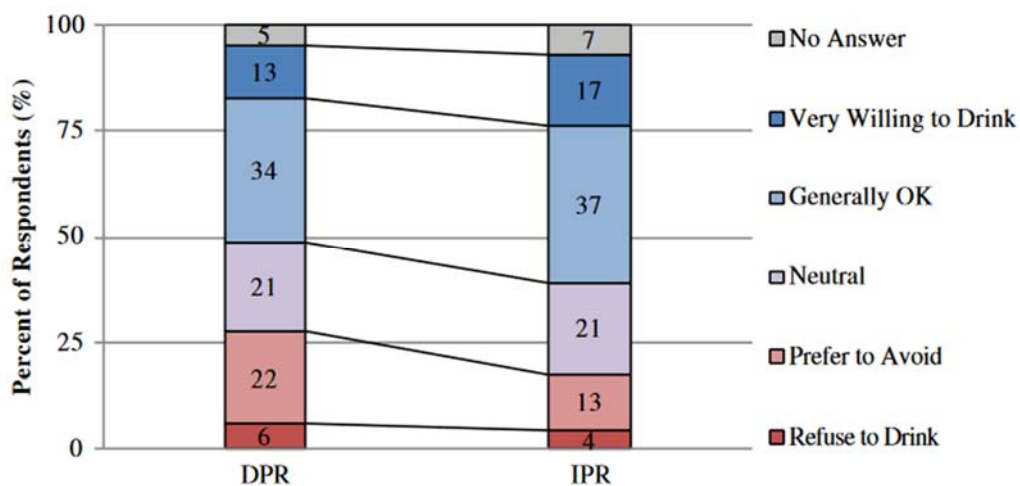
<sup>4</sup> <https://www.ivl.se/om-oss/forskningsstationer-och-testbaddar/storsudret.html> besökt april 2023



En annan fördel med behandlingen, förutom att vattnet återvinns där det uppkommer och behövs, är att organiska och oorganiska ämnen koncentreras till ungefär en femtedel av ursprunglig volym. Detta förbättrar möjligheten till resursåtervinning av både energi och näringsämnen. Kopplat till försöken bedrivs, via föreningen Forum Östersjön, en verksamhet relaterat till acceptansfrågor kring exempelvis användningen av återvunnet avloppsvatten. Under en så kallad "Café-dialog" fick de boende på Storsudret smaka på öl bryggt på återanvänt vatten och därefter svara på en enkät om de skulle kunna tänka sig att dricka återanvänt vatten. Av drygt de drygt 100 deltagarna svarade 91 % att de kunde tänka sig detta om vattnet först infiltrerades till grundvattnet eller blandades i ytvatten innan dricksvatten producerades. I det fall direktåteranvändning skulle användas var 82 % positiva till det återvunna vattnet som dricksvatten. (Filipsson och Lind, 2019).

### 3.4 Direkt återanvändning till dricksvatten

På ett antal platser runt om i världen har återvinning av avloppsvatten för produktion av dricksvatten använts under längre tid. Exempel utgörs av Windhoek i Namibia, (i drift sedan 1968), New Water i Singapore (2002), Veurne i Belgien, Intercommunale Waterleidingmaatschappij Van Veurne (2002) och Orange County i Kalifornien (2008). Acceptansen för dessa system har inte alltid varit avgörande för implementeringar utan ofta styrts av vattenbrist där en direkt återanvändning till dricksvatten har varit en av ytterst få tekniska möjligheter att tillgodose dricksvattenbehovet. Distler och Scruggs (2020) representerar en omfattande studie av acceptansen för sådana lösningar i USA. Studien visade att acceptansen för en direkt återanvändning till dricksvatten (DPR – Direct Potable Reuse) var med ca 50 % generellt högre i regioner med vattenbrist och endast något lägre än en indirekt återanvändning till dricksvatten (IPR – Indirect Potable Reuse), t.ex. via återföring till grundvattnet.



Figur 3. Fördelning av acceptans beroende på typ av återanvändning, direkt (DPR) och indirekt (IPR) (Distler och Scruggs, 2020).

Erfarenheter med en direkt återanvändning till dricksvatten är på grund av avsaknaden av implementering begränsade för Sverige. Några exemplen finns ändå att tillgå.

I en studie från 2019 undersöktes acceptansen för återanvändning av avloppsvatten på ön Möja, där klimatförändringar kan förändra vattentillgången framgent. Vilken typ av återanvändning som ska gälla var dock inte specificerad i arbetet, utan frågeställningen var ställd utifrån ett



allmänt perspektiv. Öborna var vidare positivt inställda till att återanvända avloppsvatten. Det fanns däremot en variation i acceptansen kring att återanvända svartvatten, vilket förklarades med emotionella faktorer (Adelsköld och Ilaa Åström, 2019).

I Mörbylånga kommun har återanvändning av industriellt avloppsvatten implementerats som en del av ett avancerat vattenreningsystem, utformat för att hantera utmaningarna med vattenbrist. Processen i Mörbylånga behandlar vatten från en närliggande livsmedelsanläggning, särskilt en stor producent av kycklingkött och rätter, innan det blandas med avsaltat bräckt vatten från lokala brunnar. Insatserna för att säkerställa lokalbefolkningens acceptans och förtroende omfattar användning av etablerade riktlinjer från EPA (environmental protection agency) i USA och Världshälsoorganisationen (WHO) för att säkerställa säkerheten och kvaliteten på det behandlade vattnet. Åtgärder verkar ha varit framgångsrika när det gäller att minska oron och främja samhällets acceptans av projektet för återanvändning av vatten<sup>5</sup>. Vattnet som återanvänds består dock inte av spillvatten från avloppsreningsverk och erfarenheter med acceptansnivån kan därför inte direkt överföras till en sådan återanvändning.

Under den torra och varma sommaren 2018 genomförde IVL, tillsammans med Carlsberg Sverige och Nya Carnegiebryggeriet, ett projekt med återvinning av avloppsvatten för direkt användning som dricksvatten. Avloppsvattnet som kommer till Henriksdals reningsverk i Stockholm renades och kvalitetssäkrades med olika tekniker innan det användes för att brygga ett öl, PU:REST. PU:REST såldes därefter på Systembolaget och på Nya Carnegiebryggeriets restaurang i Hammarby Sjöstad. Syftet var dels att uppmärksamma behovet av att rena vatten till bättre kvalitet än idag, dels att öka acceptansen att dricka återvunnet avloppsvatten. Trots en stor spridning av aktionen både inom Sverige och utomland mottogs inga negativa återkopplingar. Att ölet sålde slut på mycket kort tid och bryggeriet upplevde en stor efterfrågan visade på en bred acceptans för en direkt återanvändning av renat spillvatten även till dricksvatten. Vid en relaterat provsmakning arrangerad av Forum Östersjön (Figur 4) med drygt 100 deltagare svarade 82 % att de i framtiden kunde tänka sig att dricka ett direktåtervunnet spillvatten (DPR) och 97 % av deltagarna kunde tänka sig att dricka återvunnet spillvatten om det först infiltrerades eller mellanlagrades i en naturlig vattenförekomst (IPR).



Figur 4: PU:REST (vä), ett öl bryggt på återvunnet avloppsvatten, samt en medborgardialog inom Testbädd Storsudret, Gotland (hö).

### 3.5 Sammanfattning och utblick

Acceptansen för återanvändning av vatten är sammantaget relativt god och projektgruppen bedömer att acceptansnivån har ökat markant det senaste decenniet. En viss variation kring

<sup>5</sup> <https://www.water-reuse-europe.org/morbylanga-dwtp/#page-content> besökt april 2024.





acceptansen kan förekomma beroende på vad slutprodukten eller det nya användarområdet är. Acceptansen kan exempelvis vara högre vid bevattning av energiskog än vid återanvändning som dricksvatten, oavsett om kvaliteten på det återvunna vattnet kan vara densamma. Motståndet mot återanvändning av avloppsvatten handlar ofta om hälsofrågor/-risker, alltså att man är orolig för att återanvänt vatten kan innehålla föroreningar eller patogener som kan vara skadliga för hälsan. Även aspekten att det kan anses som äckligt att använda återanvänt avloppsvatten behöver tas med. Med mer information och kunskap kring vattenkvalité, och med inkludering av användare i systemen kring återanvändning, kan det dock förväntas att acceptansen blir mer och mer positiv. Den tekniska utvecklingen har dessutom gjort det möjligt att rena avloppsvatten till en högre kvalitet vilket gör att en återanvändning blir och upplevs säkrare. Även vid kris och beredskap kan vi förvänta oss att acceptansen skiftar då behoven kan ändras. Förändringar i form av klimatförändringar som exempelvis kan leda till vattenbrist i särskilda områden, kan också vara faktorer som skapar en acceptans tidigare än vad som annars hade varit att förvänta för återanvändning av vatten. Övriga faktorer som är värda att nämna i detta sammanhang är exempelvis att vi får allt högre krav i framtiden på dricksvattenkvalitet.

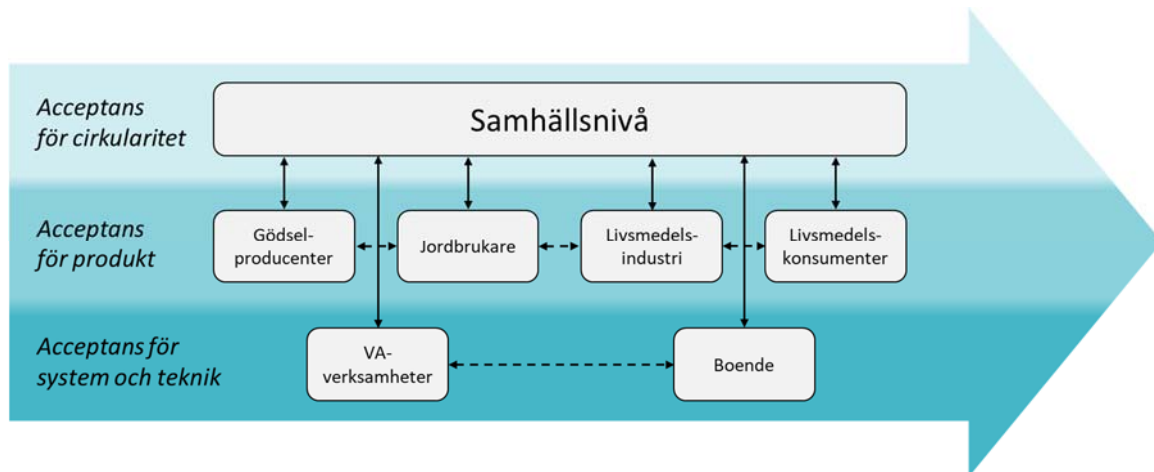
I många andra delar av världen är acceptansen för återanvändning av avloppsvatten ännu högre än i Sverige och detta kopplas ofta till att det råder brist på vatten och därmed finns ett uppenbart behov för återanvändning av vatten. I Israel finns det väletablerade lagkrav för återanvändning av vatten. Landets bestämmelser säkerställer att behandlat avloppsvatten uppfyller specifika säkerhetsstandarder innan det kan återanvändas. Den största mängden vatten återanvänds främst inom jordbruket<sup>6</sup>. I Singapore, Namibia, Australien, Texas, Kuwait och Kalifornien med mera återanvänds avloppsvatten för att producera dricksvatten.

## 4 Näringsämnen

Att tillvarata resurser och återföra näringsämnen till jordbruksmark var en självklar del i bondesamhället, och därmed fanns acceptans för spridning av mänskligt toalettavfall, som blandades med stallgödsel. Fram till mitten av 1800-talet ansvarade den enskilda fastighetsägaren, tillsammans med olika mellanhänder, för hantering och leverans av toalett- och hushållsavfall till bondens åker. Då började renhållning betraktas som en hälsovårdsfråga och ett modernt system för reglerad renhållning och myndighetstillsyn utvecklades (Wetterberg och Axelsson, 1995). Idag finns en stor variation mellan olika aktörers acceptans för återvinning och återanvändning av näringsämnen från avlopp.

För att möjliggöra ökad återvinning och återanvändning av näringsämnen från avlopp är acceptans en viktig fråga på flera nivåer (Figur 5). Acceptansen hos en aktör är även sammankopplad med andra aktörers acceptans i flera led.

<sup>6</sup> <https://www.oecd.org/climate-action/ipac/practices/israel-s-sustainable-water-management-plans-d81db5f5/> besökt april 2024.



Figur 5: Acceptans på olika nivåer

För acceptansen på samhällsnivå handlar det om både samhällets inställning generellt till cirkularitet och specifikt till återanvändning och återvinning av näringsämnen från avlopp. Acceptansen för olika typer av återanvändning och återvinning av näringsämnen från avlopp varierar stort, vilket exemplifieras i det regeringsuppdrag som resulterade i SOU 2020:3. I utredningsdirektivet från regeringen gavs utredarna uppdraget att föreslå ett förbud för spridning av avloppsslam, men samtidigt ge förslag på hur krav på fosforutvinning kan formuleras (Holmgren et al., 2020). Utredningen har ännu inte resulterat i någon nationell lagstiftning, men på europeisk nivå pågår revidering av avloppsdirektivet och en översyn av slamdirektivet har gjorts. I utkastet till EU:s nya avloppsdirektiv, förespråkas minimumkrav för återvinning av det för unionen kritiska ämnet fosfor (EU-kommissionen, 2022). Även på nationell nivå förespråkas ett ökat tillvaratagande av resurser från avlopp, däribland näringsämnen (Finnson & Lind, 2020). Samhällets acceptans för återanvändning och återvinning av resurser är sammankopplat med vilket förtroende som finns för de myndigheter som ansvarar för miljöfrågor och kontroll, samt sociala normer och tidigare erfarenheter (Jos, 2021).

Kopplat till produkten finns flera berörda aktörer vars acceptans kan möjliggöra för ökad återvinning och återanvändning av näringsämnen från avlopp. I och med att produkten från återvunna eller återanvända näringsämnen brukas inom jordbruk återfinns de berörda aktörerna i livsmedelskedjan. För gödselproducenter handlar acceptansen om såväl jordbrukarens syn på produkten som produktens hanterbarhet, lagringsbarhet och att den passar in i gödselproducentens processer. För jordbrukarna behöver acceptansen även finnas hos livsmedelsindustri och livsmedelskonsumenter för att säkerställa en efterfrågan på det livsmedel som produceras. Detta exemplifieras av Ekane et al. (2021) som beskriver hur stigmat kopplat slamspridning utgör ett hinder för slamspridning hos alla aktörer i kedjan. Acceptansen hos användare av näringsprodukter kan även vara kopplat till hur växttillgängliga näringsämnena är i produkten, vilket undersöks i ett pågående projekt (FORWarD - Fertilizer value of recirculated waste products - development of methodology for quality control) som planerar färdigställas under 2024, samt i det nyligen beviljade SVU-projektet "23-107 Fosfortillgänglighet i slam och slambiolol".

Acceptansen hos berörda aktörer är kopplat till teknik och system för återanvändning och återvinning av näringsämnen och beror på hur systemlösningen ser ut. För de som nyttjar VA-systemen kan exempelvis installationer som vakuumpoletter påverka acceptansen. För VA-verksamheter som i många fall äger och ansvarar för drift av system och tekniker finns en rad



faktorer som påverkar acceptansen som är tekniska, ekonomiska, sociala och regulatoriska. Acceptansen påverkas exempelvis av vilka riskerna är för folkhälsa och säkerhet, där tillgänglighet och effektivitet för behandlingstekniker avhjälpes (Abou-Shady et al., 2023). Även kunskap och medvetenhet kring återanvändningen spelar en stor roll för acceptansen och vilka regulatoriska stöd som finns i form av lagar och förordningar (Tzanakakis et al., 2023). Slutligen verkar ekonomiska stöd som positivt ur ett acceptansperspektiv där exempelvis kostnadsbesparingar eller subventioner kan få både företag och privatpersoner att överväga återanvändning i en högre utsträckning.

I Delsyntes 2b: Näringsämnen beskrivs tekniker för att återföra näringsämnen från avlopp. Dessa tekniker delas in i fyra grupperingar: i) Återanvändning av näringsämnen via källsorterade fraktioner, ii) Återanvändning av näringsämnen via slamspridning, iii) Återvinning av näringsämnen från rejektvatten och andra högkoncentrerade avloppsfraktioner, samt iv) Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam. Acceptans avseende återanvändning och återvinning av näringsämnen diskuteras utifrån i-iv nedan.

#### 4.1 Återanvändning av näringsämnen via källsorterade fraktioner

Källsorterade avloppsfraktioner utgörs av svartvatten (urin och fekalier) och gråvatten (bad-, disk- och tvättvatten). Det finns en frivillig certifiering av kvalitetssäkring av källsorterade avloppsfraktioner (SPCR 178) med syftet att på ett säkert sätt återföra näringsämnen till jordbruk. Det finns idag få anläggningar som är certifierade med SPCR 178 och framtiden är därför oviss för detta certifieringssystem. Acceptansen för återföring av källsorterade avloppsfraktioner ses som hög av brukare av separerande toaletter och lantbruk, men låg av allmänhet och livsmedelsföretag. Därför behövs mer information för att öka förtroendet i samhället (af Petersens & Strand, 2022).

För källsorterande avlopp finns flera mindre anläggningar i drift i Sverige idag. I Munga utanför Västerås finns en avloppslösning med separerande system sedan 2018. Klosettavatten renas på Revaq-certifierade Tomta gård och slammet utnyttjas som gödning på gårdens åkrar (Norlin och Wahlund, 2017). I Aneby och Tranås samarbetar kommunerna med lantbrukare för att ta hand om näringen från avloppsvattnet och återföra den till jordbruksmark. Toalettavatten från slutna tankar körs till en kretsloppsanläggning för lagring och behandling före spridning på åkermark (Aneby Miljö & Vatten AB, 2022). I Haninge kommun finns också en anläggning för återanvändning av insamlat svartvatten vid Solberga gård (Ljung et al., 2023). I af Petersens och Strand (2022) nämns en rad fler tekniker för hygienisering av svartvatten och anläggningar som finns i drift i Sverige och världen idag. Bland de anläggningarna som nämns finns bland annat våtkomposteringsanläggningen i Södertälje, som också kommit upp som gott exempel av referensgruppen i detta projekt.

Flera stora projekt pågår med källsorterande avloppssystem. I bostadsområdet H+ i Oceanhamnen i Helsingborg pågår ett unikt forskningsprojekt, "Tre rör ut", med en testbädd där återvinning av näringsämnen sker. Syftet med "Tre rör ut" är att skapa återvinning av näringsämnen ur källsorterat klosettavatten, ökad biogasproduktion och energieffektiviserad läkemedelsrening (NSVA, 2023). I Norra Djurgårdsstaden utförs också projekt med uppdrag att testa, utveckla och installera sorterande avloppssystem för svartvatten, matavfall och gråvatten. Ambitionen är att ta till vara resurser som värme, biogas, näring och vatten. Med samrötning av



svartvatten och matavfall ökar andelen biogas (Stockholm stad 2024). I EU-projektet Run4Life<sup>7</sup> följde man fyra demo-siter i Europa, där man bland många andra saker också undersökte acceptansen i dessa områden. Acceptansen var god bland de involverade aktörerna och att konstaterades att det är viktigt att fortsätta hålla dialogen levande.

En sammanställande studie av Lienert och Larsen (2010) med data från 38 urinsorteringsprojekt i sju europeiska länder, visade att 70 % kunde tänka sig att köpa mat som odlats med urinbaserat gödningsmedel från människor. Fler än 70 % ansåg att urinåterföring var en bra idé. Studien fann en signifikant korrelation mellan acceptans av det urinsorterande systemet och en positiv inställning till miljöfrågor, ett gott humör, känslan av att vara välinformerad samt en öppenhet för nya tekniska lösningar. Den enda av dessa faktorer som det går att ha ett (in)direkt inflytande över är informationsflödet och kunskapshöjande åtgärder. Även lägre ålder och högre utbildningsnivå var positivt korrelerade med acceptans av den urinsorterande toaletten i studien. Samma författare menar i en tidigare studie att låg acceptans är starkt korrelerat till att i negativa ordalag ha diskuterat toaletterna med andra användare (Lienert & Larsen, 2006).

I en studie som SLU utfört 2021 som baseras på enkätsvar som samlats in från 20 universitet i 16 länder (dock ingick inte Sverige) kan man se att respondenterna i olika grad ställer sig positiva till uringödsblad humangröda. En liten majoritet av de som svarade på enkäten, ca 59 %, var positiva till att konsumera uringödsblad mat. I det land som visade lägst acceptans för uringödsblad humangröda angav bara 14 % att de var positiva, medan det i det land som var mest positiva var 80 % som ansåg sig vara positiva till uringödsblad mat. Även inom världsdelar och mellan länder inom EU skilde sig acceptansnivån åt stort (Simha et al., 2021). Mer information finns också att läsa i Barton et al., 2021. I en annan studie från SLU undersöks acceptansen hos personer som arbetar inom matförsäljning i Sverige (McConville et al., 2023). Man fokuserade på tre avloppsderiverade näringsprodukter – torkat urin, fosfor från slamaska samt struvit. I undersökningen framkom att produktsäkerheten hos livsmedlet rankades som den viktigaste faktorn, över bland annat miljöpåverkan, ursprung och profit. För alla tre näringsprodukter som undersöktes var acceptansen hög för icke-ätbara grödor, medan den var lägre för scenarier med gödsling av grödor för djur- eller humankonsumtion, eller om respondenten själv skulle äta livsmedlet. Lägst acceptans vid gödsling av humangrödor fick torkad urin, medan struvit och fosfor från slamaska rankades som ungefär lika accepterade som varandra och högre än den torkade urinen (McConville et al., 2023).

## 4.2 Återanvändning av näringsämnen via slamspridning

Slamspridning är ett väletablerat tillvägagångssätt för att återföra näringsämnen och mullämnen till jordbruksmark. I konventionella avloppssystem produceras cirka 210 000 ton TS (torrsbstans) avloppsslam i Sverige varje år (SCB, 2022). Under år 2020, som är det senaste året som SCB har sammanställt denna typ av statistik för, nyttjades 23 % till anläggningsjordsproduktion, 16 % till deponitäckning och 46 % på jordbruksmark (SCB, 2022). Drygt halva Sveriges befolkning är anslutna till ett Revaq-certifierat avloppsreningsverk och totalt sett är dessa 44 till antalet. Majoriteten av det slam med godkänd kvalitet enligt Revaq-reglerna går ut på åkermark (Svenskt Vatten, 2022). Syftet med Revaq-regelverket är att skapa förutsättningar för ett bra och strukturerat uppströmsarbete som minskar utsläppen av oönskade

<sup>7</sup> <https://run4life-project.eu/>



ämnen till avloppet och möjliggör för säker återföring av vatten och näringsämnen från avlopp till jordbruksmark (Svenskt Vatten, 2024).

Ekane et al. (2021) beskriver hur olika intressenter har olika acceptans för återföring av näringsämnen via slamspridning på jordbruksmark. Studien pekade på att aktörer som agerar i, eller nära slamhanteringen, generellt fokuserar mer på nyttor med slammet, medan aktörer som arbetar med kontroll och begränsning av toxiska ämnen till större grad förespråkar ett spridningsförbud, ofta med hänvisning till den försiktighetsprincipen. Det är en komplex samverkan av faktorer som kunskap, teknik, miljöaspekter, socioekonomi, psykologi och politik som påverkar bedömning och beslutsfattande avseende slamspridning. Det påverkar hur kommunikation av risker med slamspridning förs fram och argumenten för eller emot återföring av resurser från avlopp och påverkar allmänhetens förtroende. Viktiga aspekter som påverkar acceptansen för spridning av slam är hur det omnämns i media. Även aspekter såsom provtagning, kontroller och Revaq-certifiering och osäkerheter med förorenande ämnen och emotionella faktorer spelar en viktig roll. Den lokala tillgången till stallgödsel påverkar också behovet av slamgödsling och därigenom viljan att sprida slam. Till skillnad från slamspridning är användande av stallgödsel på jordbruksmark okontroversiellt. Även användning av avloppsslam till produktion av anläggningsjord och täckning av deponier är generellt accepterat trots de potentiella riskerna för miljön (Ekane et al., 2021).

Att acceptansen och drivkrafterna för näringsåterföring genom spridning av avloppsslam varierar stort mellan olika intressenter framgår exempelvis via de remissvar som inkom på utredningen om hållbar slamhantering (SOU 2020:3). Denna slamutredning är inte den första – slamspridning har en lång historik avseende utredningar. Den senast genomförda utredningen presenterade två alternativ till förbud mot spridning av slam genom 1) totalt spridningsförbud med mycket begränsade undantag, eller 2) spridningsförbud med undantag för produktiv jordbruksmark (med andra ord förbud i anläggningsjord och dylikt) med utgångspunkt i att eventuella risker kan hanteras och åtgärdas (Holmgren et al., 2020). Vilket alternativ de olika intressenterna förordade i sina remissvar skiljde sig åt. Gödsel företaget YARA och Kemikalieinspektionen stödjer exempelvis alternativ 1 om ett totalförbud med begränsande undantag, medan Länsstyrelsen Stockholm, branschorganisationerna för lantbrukare (LRF), Hushållningssällskapet och Livsmedelsföretagen stödjer alternativ 2, som inte medför ett totalförbud (Regeringskansliet, 2020).

I LRF:s utvärdering av jordbrukets inställning till återföring av näringsämnen (Eksvärd & Wallenberg, 2018) beskrivs att LRF är positiv till användning av rena kretsloppsprodukter. Det är upp till den enskilde lantbrukaren att besluta om slamspridning och enligt utvärderingens enkätundersökning skiljer sig åsikterna om slamspridning kraftigt åt mellan LRF:s medlemmar. Angående livsmedelsindustrins inställning till slamspridning finns det från majoriteten av medlemmarna till branschorganisationen Livsmedelsföretagen endast en acceptans för användning av slam till odling för export, energi- och foderspannmål. Större acceptans finns dock för mer specificerade kretsloppsprodukter såsom källsorterade och hygieniserade avloppsfraktioner (även om den faktiska användningen av dessa typer av produkter är mycket liten idag). Lantmännen tillåter exempelvis godkända slampartier från Revaq-certifierade reningsverk medan Svenskt Sigill har en policy för att avloppsslam inte får användas (Eksvärd & Wallenberg, 2018).

Andelen avloppsslam som används för jordbruksspridning har ökat de senaste åren och 2020 spreds nästan 100 000 ton avloppsslam på åkermark (SCB, 2022). Efterfrågan har sedan dess



fortsatt öka och i vissa regioner har den de senaste åren varit större än det faktiska utbudet. Detta kan till stor del kopplas till att Ryssland för krig mot Ukraina, vilket i sin tur har lett till att gödselpriserna har ökat markant sedan dess. Ett tydligt resultat av detta har därför varit att tillgängliga slamvolymerna har bokats upp tidigt och spridningssäsongerna har förlängts<sup>8</sup>. Om detta även innebär en ökad acceptans för slamspridning på längre sikt återstår att se.

Acceptansen av slamspridning skiljer sig åt mellan olika länder. Bertholds och Olofsson (2014) beskriver att synen på slamspridning påverkas av olika faktorer såsom lagstiftning, opinion, folktäthet och jordbrukets behov av gödselmedel. Främst är det lagstiftning som påverkar slammets avsättningsmöjligheter. Även koncentrerad djurhållning och överskott av stallgödsel kan påverka, något som är aktuellt för kontinentaleuropa. Varför använda avloppsslam när djurgödsel kan användas? Fokus på risker har ändrats från metaller till att även omfatta organiska föroreningar, nanopartiklar, smittspridning och antibiotikaresistens. I Schweiz, Tyskland, Nederländerna och Belgien är slamspridning på åkermark helt eller delvis förbjudet och i dessa länder förbränns mellan 50 procent och 90 procent av allt slam idag. I motsats till detta har slamspridningen ökat sedan början av 2000-talet i Frankrike, Italien, Spanien och Storbritannien, som alla har krav som följer EU:s slamdirektiv från 1986 (Bertholds and Olofsson, 2014).

I 41 av USA:s 50 stater används 25 % av den totala slamproduktionen på 4,5 miljoner ton TS avloppsslam som gödselmedel (US EPA, 2023). I en studie av Borden et al. (2004) svarade drygt 6 500 hushåll i delstaten Nevada på frågor om acceptansen för återanvändning av växtnäring från avlopp. Av de svarande var 75 % positiva, eller mycket positiva, till slam användning på golfbanor och i parker, men inte i grönsaksodling eller i privata trädgårdar. Denna studie visade också att åsikter om slamhantering korrelerar med utbildningsnivå, inkomst, kön samt tillfrågades tillit till hälsoskyddsinspektörer och tillit till vetenskapliga fakta (Borden et al., 2004). Det framkom t.ex. att högre utbildningsnivå, högre inkomst och män i större utsträckning var mer positiva till slamspridning.

### 4.3 Återvinning av näringsämnen från rejektvatten och andra högkoncentrerade avloppsfraktioner

Återvinning av näringsämnen från rejektvatten och andra högkoncentrerade vattenströmmar görs i pågående reningsprocess och produkten blir efter produktifiering vanligtvis en gödselprodukt som till form och karaktär skiljer sig mycket från det ursprungliga spillvattnet.

**Struvitutfällning** används för återvinning av främst fosfor. Det finns 24 fullskalanläggningar för struvitåtervinning i EU och totalt 80 anläggningar i världen (Muys et al., 2021). Flera pilotförsök pågår i Sverige, exempelvis på RecoLab i Helsingborg för framställning av Ekobalans kretsloppsgödsel. Även **ammoniakstrippning**, som är i drift på VEAS i Oslo sedan 1996, testas på RecoLab Helsingborg (Malovanyy et al., 2022). Ekobalans bedömer att EU:s nya syn på kretslopp kommer öka acceptansen för struvit och ammoniumsulfat, som ses som renare och mindre problematiska än de med organiskt innehåll från slam. Båda kan användas som råvaror, och omvandlas till en gödselprodukt som marknaden efterfrågar<sup>7</sup>. En fördel med struvit är att den förekommer i granulär form, vilket enligt många jordbrukare är önskvärt för att underlätta spridningen och öka acceptansen (af Petersens & Strand, 2022). Struvit kan behöva förädlas vidare för att rätt NP(K)-kvot ska erhållas och därmed följa jordbrukets gödselbehov.

<sup>8</sup> Katarina Hansson, projektledare Biorec, intervju 2023-05-09



Återvinning av näringsämnen från högkoncentrerade avloppsfraktioner kan även utföras med tekniker som **kontaktmembran**, **indunstning** och **destillation**. För samtliga av dessa gäller att den återvunna växtnäringen kan användas som råvara för gödseltillverkare. Det som erhålls är en gödselprodukt som anpassas efter marknads behov avseende näringsinnehåll och egenskaper och som efterfrågas av lantbrukare där det finns en acceptans (af Petersens & Strand, 2022).

EU:s gödselproduktförordning (2019/1009) som trädde i kraft i juli 2022 behandlar handel med gödsel mellan länder inom EU. Förordningen syftar till att skapa harmoniserade villkor för CE-märkning av gödselprodukter och underlätta för handel av gödselprodukter inom EU, samtidigt som gödselprodukter fortsatt kan säljas inom respektive land enligt landets lagar (af Petersens & Strand, 2022). I förordningen ingår utöver mineralgödsel även organiska gödselprodukter och restprodukter som kan ingå i en cirkulär livsmedelsproduktion. Bland annat är förbränningsaska och fosforsalter, så som exempelvis struvit från avlopp och slam, tillåtet för handel över gränserna. Enligt förordningen 2021/1165 kan återvunnen struvit och utfällda fosforsalter användas för ekologiskt jordbruk om kraven i gödselproduktförordningen 2019/1009 (EU-kommissionen, 2023) uppfylls. Att det är godkänt enligt EU-förordningen är gynnsamt ur acceptanssynpunkt, då detta ger ett godkännande av användning av gödselmedlet som gäller i hela EU. Vilka produkter som kan godkännas enligt gödselproduktförordningen utökas allt eftersom, varför fler produkter från avloppsfraktioner kan komma att inkluderas i framtiden.

#### 4.4 Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam

Ett alternativ till att sprida avloppsslam för att ta vara på fosfor är att via termisk behandling av slammet tillverka slamaska, slamkol, olika fosforsalt eller en fosforsyra efter att termiskt ha behandlat slam. Beroende på betingelser under behandlingen fås olika produkter med olika sammansättning och egenskaper. Såväl tekniken som produktens beskaffenhet kan påverka acceptansen hos resursproducent och hos slutanvändare av produkten och slutkonsument (till exempel av det livsmedel som tas fram med hjälp av näringsprodukten). Ett flertal tekniker för detta finns idag, både med förbränning, pyrolys och hydrotermisk karbonisering (HTC), samt med eventuella ytterligare processteg få en önskad slutprodukt (se Delsyntes 2). Om slammet torkas och förbränns blir en slamaska kvar som i stort sett innehåller all fosfor som avskiljs under reningsprocessen. Kväve och svavel går förlorade vid förbränningen och vissa tungmetaller kan avskiljas under särskilda processbetingelser såsom höga temperaturer. När slam bränns tillsammans med vetehalm och solrosfröskal visar studier att ett mer växttillgängligt fosfat bildas jämfört med när enbart slam förbränns (Häggström et al., 2021).

Idag framställs biokol på en rad olika ställen i världen och det finns totalt 50 fullskaleanläggningar i drift varav ett fåtal använder avloppsslam, exempelvis i Danmark, Tyskland, Tjeckien och USA. I Sverige är en testbädd för slamkolsframställning genom pyrolys under etablering vid Ellinge reningsverk för att ge kommuner ökad kunskap om framställning av slambiol. Slamkol från örötat slam har även tagits fram och utvärderats i ett pilotförsök med HTC-tekniken vid Margretelunds avloppsreningsverk (Baresel et al., 2023). Vid spridning av slamkol på åkermark kan återföring av fosfor och kol utföras med en mindre mängd förorenande ämnen än vid slamspridning. Enklare och färre transporter av produkten är en annan fördel. Därtill är slamkolet fullständigt hygieniserat (Johannesdottir et al., 2023). Huruvida tungmetaller och organiska föroreningar avgår till gasfas respektive bryts ner beror på processen (exempelvis temperaturen) (Paulsson, 2020).



Att framställa biokol från andra substrat än slam är kostsamt för lantbruket och denna produkt används huvudsakligen på urbana ytor, ofta i regnbäddar. Det kan användas för vattenrening, vattenhållande funktion och kan bidra som en kolsänka. I sig är biokol näringsfattigt, men det kan bli en näringsdepå om det laddas med växtnäring. Slambiol har många egenskaper som skiljer sig från exempelvis träbiokol, och är näringsrikt eftersom det bland annat innehåller fosfor. Slamkolsberikat biokol ger ett näringsrikt biokol som blir till en gödselprodukt som förväntas ha en god acceptans. Slamkol omfattas även av Revaqs certifieringsregler från och med år 2024 (Svenskt Vatten, 2023a).

Det finns utmaningar med att teknikerna för att framställa dessa koltyper är avancerade, kräver mycket energi, och att lagstiftningen inte är uppdaterad för att tillåta spridning av slutprodukten. Varken slambiol eller askor är förbjudet att spridas, däremot är det oklart vad exakt som gäller för slambiol, har det slutat vara slam och blivit något annat? Om det anses att det fortfarande är slam så gäller slamlagstiftningen. Det finns även en potentiell risk att ursprunget i avloppsslam ger en låg acceptans enligt Ekobalans. Det saknas tillräcklig betalningsvilja för produkter som innehåller avloppsslam, vilket beror på att det finns en rädsla för att produkten ska anses förorenad. Det sammanvägt med att de termiska behandlingarna kräver investeringar och insatsvaror kan innebära utmaningar, dock är bedömningen från projektgruppen att intresset för dessa tekniker är växande inom branschen.

#### 4.5 Sammanfattning och utblick

Acceptansen för återanvändning av näringsämnen från avlopp varierar kraftigt, men är sammantaget relativt god. Acceptansen varierar beroende på vad slutprodukten eller det nya användningsområdet är. Projektgruppen poängterar att fokus bör vara på evidens och därmed kvalitet, istället för ursprung. Dessutom behöver fokus inte bara vara på teknikutveckling, utan även på kommunikation, eftersom social acceptans är en förutsättning för social hållbarhet, då det inte är möjligt att implementera lovande teknik om den avvisas av samhället.

Idag återförs näringsämnen som fosfor, mikronäringsämnen och biologiskt material huvudsakligen med slamspridning som har en splittrad acceptansnivå, beroende på hur nytta och risk värderas av olika intressenter. Det bör även beaktas att i och med betydligt högre bränsle- och gödselpriser i världen, tillsammans med brist på växtnäring som fosfor, kan efterfrågan och därmed acceptansen för avloppsgödsel bland lantbrukare komma att öka än mer.

Andra tekniker är under utveckling och har en lägre teknisk mognad samt hög tillverkningskostnad. Risken för brist på olika resurser kan påskynda utvecklingen av återvinning av näringsämnen ur avloppsvatten. En utmaning är att all erfarenhet som finns är kopplad till slam och, än så länge, i andra fall för små volymer. Acceptans för de andra resurserna har inte utretts.

Det finns idag en rad regelverk på olika nivå som reglerar slamspridning, se Tabell 1. Även om det rent juridiskt finns en tydlig hierarki mellan dem, där de striktare svenska lagstiftningarna gäller före den Europeiska lagstiftningen, och där de ännu striktare certifieringsreglerna gäller för certifierade verk kan de vara snårigt och svårbegripligt för den som inte är insatt. Flera utredningar har gjorts för att föreslå nytt nationellt regelverk för slamspridning. I flera av dessa har det konstaterats att de gränsvärden som finns i dagens lagstiftning skulle behöva skärpas (Holmgren et al., 2020; (Naturvårdsverket, 2013).





Tabell 1: Gränsvärden för en rad ämnen i slam i olika lagstiftningar för slamavvättning, halt och mängdkrav samt som referens haltkrav för organiska gödselmedel i FPR (slam omfattas ej).

Metall	Mängdkrav (maximal tillförsel)			Haltkrav (maximal halt)		
	EU:s slamdirektiv (86/278/EEG)	SNFS 1994:2	Revaq- regler 2024	EU:s slamdirektiv (86/278/EEG)	Svensk Förordning (1998:944)	EU-förordning 2019/1009 "FPR" *
	g/ha,år	g/ha,år	g/ha,år	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
<b>Bly</b>	15 000	25	25	750 - 1 200	100	120
<b>Kadmium</b>	150	0,75	0,51	20 - 40	2	1,5
<b>Koppar</b>	12 000	300**	300**	1 000 - 1 750	600	300
<b>Krom</b>	---	40	40	---	100	2***
<b>Kvicksilve r</b>	100	1,5	0,55	16 - 25	2,5	1
<b>Nickel</b>	3 000	25	25	300 - 400	50	50
<b>Zink</b>	30 000	600	600	2 500 - 4 000	800	800

\*värden för organiska gödselmedel som omfattas av EU:s Fertilizer product regulation (förkortat FPR, eller gödselproduktförordningen på svenska). Slam omfattas ej – värdena är att betrakta som en referens.

\*\*Tillåts i större mängder på vissa platser, beror på markens beskaffenhet.

\*\*\*Enbart 6-värt krom och ej totalkrom i denna lagstiftning.

Det finns därför ett behov av ett uppdaterat, vetenskapligt förankrat, regelverk för hantering av avloppsslam och andra näringsprodukter från avlopp som är begripligt och kommunicerbart. Begripliga regelverk som tar hänsyn till relevanta risker är viktigt för en hög acceptans på kort och lång sikt. Social acceptans är en förutsättning för social hållbarhet, då det inte är möjligt att implementera lovande teknik om den avvisas av brukarna, slutanvändarna eller samhället. Det bör beaktas att betydligt högre bränsle- och gödselpriser i världen kan bidra till ökad efterfrågan på avloppsgödsel bland lantbrukare då kostnadsbilden ändras. Även vid god kommunikation och välformulerad information, ökar acceptansen.

Vissa tekniker och processlösningar är under utveckling och har en lägre teknikmognad och hög kostnad. De nya teknikerna kan också innebära höga energibehov, vilket påverkar drivkrafterna för utvecklingen. Vid kris och beredskap råder inte sällan brist på näringsämnen som fosfor och kväve, vilket bidrar till att drivkrafter ökar. Risken för brist på olika resurser kan påskynda utvecklingen av återvinning av växtnäring ur avloppsvatten. Det är viktigt att fokusera på de återvunna produkterna och resursernas kvalitet och inte fastna i ursprung, och att bidra med information och tillit för alla typer av resurser ur avloppsvatten.



## 5 Energi

Återvinning av energi från avlopp, som värmeenergi eller biogas, erbjuder stora möjligheter för hållbar energiförsörjning. Även om det inte finns samma utmaningar som vid återvinnig och återanvändning av vatten eller näringsämne från avlopp så kan acceptansproblem även vid energiåtervinning från avlopp uppstå. Dessa omfattar både tekniska och sociala utmaningar, som behöver hanteras för att säkerställa framgångsrik implementering. Även om acceptansen i allmänhet kan vara stor till hållbara energilösningar, kan människor motsätta sig anläggningar som ligger nära deras hem eller arbetsplatser. Biogasanläggningar, till exempel, kan orsaka vissa luktproblem, vilket kan leda till en mindre acceptans för placeringen av sådana anläggningar. En annan källa till eventuella acceptansproblem är bristen på förståelse för processen och teknologin bakom återvinning av energi från avloppsvatten. Tydlig information kan behövas för att utbilda och engagera allmänheten för att undvika acceptansutmaningar.

Det finns flera sätt att återanvända eller återvinna energi från avloppsvatten som beskrivs i Delsyntes 2c: Energi. Eftersom dessa tekniker till stor del är oberoende av emotionella och sociala acceptansaspekter, så behandlas i stället kortfattat förutsättningarna för acceptans i tekniskt-ekonomiska termer.

Generellt bedöms acceptansen för energiåtervinning från avlopp vara mycket bra i Sverige. Det kan dock nämnas att det hos en del kommuner finns en låg acceptans för värmeåtervinning från hushållspillvatten vid fastigheter eftersom en lägre temperatur i spillvattnet skulle kunna minska kvävereningseffektiviteten vid avloppsreningsverket (se även Delsyntes 3). Värmeenergin i hushållspillvattnet går dock till stor del förlorat i ledningsnätet på grund av förluster till mark och luft i det icke-isolerade spillvattennätet, samt utspädning med tillskottvatten som tränger in i spillvattennätet. Effekten av en värmeåtervinning från avlopp i hushållen skulle således inte påverka reningseffektiviteten vid reningsverket avsevärt vilket också har visast av Arnell et al. (2021). Andra studier som framhåller att en implementering av en hushållsnära värmeåtervinning från avlopp kan påverka kvävereningen vid avloppsreningsverk negativt (till exempel Nilsson et al., 2023) har dock inte tagit hänsyn till värmeförluster i spillvattennätet och kommer därmed till en annan slutsats i sina modeller. Med bättre kunskap hoppas Projektgruppen att acceptansen för en värmeåtervinning från avlopp även vid hushåll ökar framgent.

Ett exempel är användning av värmexlaren för utgående avloppsvatten från enstaka fastigheter, där det kalla inkommande vattnet värms upp och därmed minskar energibehovet vid uppvärmning av tappvarmvatten. Detta återfinns exempelvis för ett flerbostadshus på Gävle Strand (Hurlöv, 2019). Även om en besparing i uppvärmning av tappvarmvatten med ca 11 % kunde åstadkommas, bedömdes avbetalningen för investeringen i värmexlaren bli lika lång som värmexlaren uppskattade livslängd. Det fanns alltså inget ekonomiskt incitament för införande av värmexling, även om det kunde sparas stora mängder av energi under värmexlaren livslängd.

Värmepumpar som utnyttjar restvärme i spillvatten från hushåll används inte i någon stor utsträckning i Sverige idag. Exempel finns dock, som vid Vilhelmina Folkets Hus som återvinner upp mot 95 % av den energi som förbrukas för varmvattenproduktion och fastighet Docenten i



Uppsala där uppskattningsvis 90 % av energin återvinns från spillvattnet<sup>9</sup>. Inom VA-sektorn används tekniken med värmepumpar vid många reningsverk för återanvändning av restvärme i utgående avloppsvatten och projektgruppen känner inte till några utmaningar relaterade till acceptans för dessa installationer.

Angående energiåtervinning från avlopp genom biogasproduktion så har Projektgruppen inte kunnat identifiera några acceptansproblem direkt relaterat till biogasen. Eventuella utmaningar kan dock förekomma i samband med själva slamhanteringen. Även om acceptansen bedöms hög för biogas kan en övergång till en mer elektrifierad fordonsflotta på många håll leda till svårare avsättning och på sikt sämre acceptans.

Flera tester med slamförbränning, pyrolys och hydrotermisk karbonisering HTC av slam har redan demonstrerats men har ännu inte resulterat i någon fullskaleanläggning och erfarenheter med eventuell energiproduktion finns därför inte i Sverige. Att inte några fullskaleinstallationer finns relateras dock inte till avsaknaden av acceptans för teknikerna, utan till andra aspekter såsom befintliga regelverk eller dagens slamhantering.

## 6 Andra resurser

Avlopp innehåller även andra resurser än vatten, växtnäring och energi. Produkter som sand, cellulosa, metaller, flyktiga fettsyror och biopolymerer kan återvinnas ur avloppsvatten vilket beskrivs i Delsyntes 2d: Andra resurser. Generellt är underlaget gällande acceptans kring återanvändning från andra resurser bristfällig och diskussionen nedan baseras därför framför allt på Projektgruppens bedömning. Acceptansen för återvinning av andra resurser är varierande och flera av de farhågor som lyfts med återvinning av andra resurser liknar de för återvinning av vatten och växtnäring från avloppssystem. Frågor kring huruvida återvunna resurser är hygieniska, ekonomiskt gångbara eller om de innehåller oönskade ämnen återfinns även i diskussionerna om återvinning av dessa resurser ur avlopp.

Flera av resurserna används internt inom VA-verksamheterna, med både ekonomiska och cirkulära drivkrafter och detta ger hög acceptans. Återvinning av andra resurser är under utveckling och har en lägre teknisk mognad och därmed inte sällan en hög kostnad. Vid kris och beredskap, med brist på råvaror såsom koagulerer som följd, skulle drivkraften för introduktion av återvunna råvaror sannolikt kunna öka. Risken för brist på olika resurser kan även påskynda utvecklingen av resurser ur avloppsvatten. Acceptansen inom industrin och av allmänheten förväntas bli hög om den återvunna råvaran omvandlas industriellt till en ny produkt.

För återvinning och återanvändning av cellulosa är projektgruppens bedömning att acceptansen är låg framför allt då det idag finns en relativt god tillgång till billig råvara från skogsindustrin samt från förpackningsåtervinningen och det därmed saknas ekonomiska incitament för denna återanvändning.

Även en återvinning av metaller är ännu för kostsamt och avsättning saknas för en återvunnen produkt. Projektgruppen bedömer dock att acceptansen vid tillräcklig teknisk mognad kan bli hög, då den återvunna råvaran omvandlats till en industriell produkt. Detta gäller även för

<sup>9</sup> <https://www.evertherm.se/referensprojekt/docenten>, besökt mars 2023



återvinning av processkemikalier som ännu är för kostsam då efterfrågan saknas. Det finns dock reningsverk med stor kemikalieförbrukning som tittar på återvinning av fällningskemikalier lokalt, bland annat i Vetlanda där aluminiumsalt återvinns<sup>10</sup>.

I Sverige används dricksvattenklassade fällningskemikalier till både avloppsrening och dricksvattenproduktion. En fällningskemikalie producerad med återvunna metaller kan ha svårt att uppfylla lagkrav och få acceptans för dricksvattenproduktion, men kan lättare accepteras för användning vid ett reningsverk<sup>13</sup>. I en bristsituation ska användandet av fällningskemikalier till dricksvattenproduktion prioriteras (Svenskt Vatten, 2022). Drivkraften att recirkulera resurser har ändrats, då tillgången på fällningskemikalier är mer osäker. Projektgruppen förutsätter att acceptansen kan vara hög om den återvunna råvaran omvandlas industriellt till ny produkt som kan fylla reningsverkens behov av fällningskemikalier.

Återvinning av fettsyror är under utveckling och från pågående pilottester vid olika avloppsreningsverk rapporterades viss tvekan mot teknikerna främst på grund av eventuella luktproblem. Lägre kostnader för kemikalier tillsammans med en låg arbetsinsats medför dock att acceptansen vid dessa försök har gradvis ökat.

Även intresset och acceptansen för termiska behandlingstekniker för produktion av slamkol ökar, och i takt med att utvecklingen av teknikerna går framåt följer ett ökat behov av att hantera produkterna från desamma. Användningen av slamkol förväntas bli stor inom många tillämpningar, men även om acceptansen och framför allt intresset har vuxit, kvarstår det osäkerheter om slamkol verkligen kommer att användas eller bli en produkt som användarna vill betala för.

Genom omvandling av avloppsslam till slamkol med hjälp av termiska processer såsom pyrolys och HTC erhålls en hygienisering av produkten. Beroende på temperatur och tryck i processen kan den också resultera i minskat innehåll av oönskade ämnen som exempelvis kadmium och mikroplaster jämfört med innehållet i ursprungsslammet. Beroende på användningsområde kan slamkolets höga innehåll av fosfor vara både en fördel och en nackdel för acceptansen av produkten. Andra aspekter värda att nämna är att kolstrukturen skiljer sig åt mellan slamkol och biokol, där porstrukturen är tätare i slamkol, vilket innebär att det har en sämre adsorptionskapacitet relativt andra typer av biokol såsom kokosnötsbaserad kol. En av fördelarna med slamkol sett utifrån en acceptansnivå, är att produkten blir enkel att transportera jämfört med avvattnat slam.

<sup>10</sup> Kalle Pelin, Circularity Manager Feralco intervju 2023-06-02



## 7 Referenser

- Abou-Shady, A., Siddique, M.S., Yu, W. 2023. A Critical Review of Recent Progress in Global Water Reuse during 2019–2021 and Perspectives to Overcome Future Water Crisis. *Environments* 10, 159. <https://doi.org/10.3390/environments10090159>
- Adelsköld, S., Ilaö Åström, S. 2019. Vattentillgång, vattenanvändning och inställning till återanvändning av renat avloppsvatten på en ö i skärgården – en fallstudie om Möja. Uppsala: C-uppsats, Uppsala universitet.
- af Petersens, E., Strand, L. 2022. MACRO 3: Återföring av näring från källsorterade avlopp - nulägesstudie.
- Al-Saidi, M. 2021. From Acceptance Snapshots to the Social Acceptability Process: Structuring Knowledge on Attitudes Towards Water Reuse. *Frontiers in Environmental Science* 9.
- Aneby Miljö & Vatten AB 2022. Kretsloppsanpassat avlopp [WWW Document]. Aneby Miljö Vatten AB. URL <https://amaq.se/avfall/slamtomning/hallbart-kretslopp/> (accessed 7.6.23).
- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Baresel, C., Axegård, P., Lazic, A., Bornold, N., Yang, J.-J., Malovanyy, A. 2023. Framtidens slamhantering vid Roslagsvatten - Behandling av kommunalt orötat slam med HTC-teknik (OxyPower HTC™) och rening av HTC-vatten med SBR och MBBR. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2460.
- Baresel, C., Dahlgren, L., Nikolic, A., de Kerchove, A., Almemark, M., Ek, M., Harding, M., Ottosson, E., Karlsson, J., Yang, J. 2015. Reuse of treated wastewater for nonpotable use (ReUse) - Final Report. IVL Swedish Environmental Research Institute, report B2219.
- Barton, M.A., Simha, P., Magri, M.E., Dutta, S., Kabir, H., Selvakumar, A., Zhou, X., Lv, Y., Martin, T., Kizos, T., Triantafyllou, E., Kataki, R., Gerchman, Y., Herscu-Kluska, R., Alrousan, D., Dalahmeh, S., Goh, E.G., Elenciuc, D., Głowacka, A., Korculanin, L., Tzeng, R.V., Ray, S.S., Ganesapillai, M., Niwagaba, C., Prouty, C., Mihelcic, J.R., Vinnerås, B. 2021. Attitudes of food consumers at universities towards recycling human urine as crop fertiliser: A multinational survey dataset. *Data in Brief* 35, 106794. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106794>
- Bertholds, C., Olofsson, U. 2014. Nya processvägar för effektiv slamhantering.
- Borden, G.W., Devitt, D.A., Morris, R.L., Robinson, M.L., Lopez, J. 2004. Residential Assessment and Perception Toward Biosolids Compost Use in an Urban Setting. *Compost Sci. Util.* 12, 48–54. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702157>
- Börjesson, G. 2021. Slamspridning på åkermark – mullhaltens betydelse.
- Broberg, A.A. 2020. Utvinner zink ur flygaska [WWW Document]. Recycling. URL [https://www.recyclingnet.se/article/view/769072/utvinner\\_zink\\_ur\\_flygaska](https://www.recyclingnet.se/article/view/769072/utvinner_zink_ur_flygaska) (accessed 7.12.23).
- Distler, L.N., Scruggs, C.E. 2020. Arid Inland Community Survey on Water Knowledge, Trust, and Potable Reuse. I: Description of Findings. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 146, 04020045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001218](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001218)
- Ekane, N., Barquet, K., Rosemarin, A. 2021. Resources and Risks: Perceptions on the Application of Sewage Sludge on Agricultural Land in Sweden, a Case Study. *Front. Sustain. Food Syst.* 5.
- Ekengren, Ö., Baresel, C., Filipsson, S., Karlsson, J., Winberg von Friesen, Blomqvist, S., Hasselgren, M., Lazic, A., Stapel, H., Feldthusen, M., Hellman, J., Nordin, A. 2020. The municipal wastewater treatment plant of the future – A water reuse facility Evaluation of a full-scale tertiary treatment system for removal of pharmaceuticals and recovery of water at the WWTP Stengården in Simrishamn, Sweden, IVL rapport C 538.



- Eksvärd, Wallenberg, 2018. Lantbrukets syn på kretslopp. MACRO, [www.macrosystem.se](http://www.macrosystem.se)
- Ellis, S.F., Savchenko, O.M., Messer, K.D. 2019. What's in a name? Branding reclaimed water. *Environmental Research* 172, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.059>
- Energimyndigheten 2017, Fosfor från avloppsslam i en cirkulär ekonomi, Rapport projektnummer 42539-1.
- Europaparlamentet, 2020. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse.
- Fernandes, E., Cunha Marques, R. 2023. Review of Water Reuse from a Circular Economy Perspective. *Water* 15, 848. <https://doi.org/10.3390/w15050848>
- Filipsson, S., Lind, E. 2019. Muntlig redogörelse för enkätsvar inom Testbädd Storsudret under så kallad Cafédialog i Burgsvik.
- Finsson, A., Lind, S. 2020. Hållbar och cirkulär VA – från avlopp till resurs. Delegation för cirkulär ekonomi. <https://www.delegationcirkularekonomi.se/>
- Gullberg, Y., Samuelsson, K., Brandt, S.A. 2023. Key perceptions associated with attitudes towards water reuse in a Swedish town. *Water Reuse* 13, 507–524. <https://doi.org/10.2166/wrd.2023.010>
- Holmgren, G., K Larsson, F., H Johansson, M., Lindblad Hammar, I. 2020. Hållbar slamhantering SOU 2020:3. Stockholm.
- Hushållningssällskapet 2021. Slamtillförsel till åkermark - Slamrapport 2015-2018.
- Häggström, G., Öhman, M., Skoglund, N. och Hannl, T. 2021, Återvinning av fosfor från avloppsslam genom samförbränning, SVU, rapport 2021-01.
- Johansson, M., Albinsson, M., Regnell, F. 2022. Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten, rapport 2022:03 . Stockholm: SVU.
- Johannesdottir, S., Nordin, A., Persson, E., Kusoffsky, E., Johansen, N. 2023. Slamhygiensering - kartläggning och utvärdering av tekniker. *Svenskt Vatten Utveckling* 2023-12.
- Jos, F. 2021. Acceptance of water and nutrient reuse higher than expected [WWW Document]. KWR. URL <https://www.kwrwater.nl/en/actueel/acceptance-of-water-and-nutrient-reuse-higher-than-expected/> (accessed 7.5.23).
- Lienert, J., Larsen, T.A. 2010. High Acceptance of Urine Source Separation in Seven European Countries: A Review. *Environ. Sci. Technol.* 44, 556–566. <https://doi.org/10.1021/es9028765>
- Ljung, E., Kusoffsky, E., Jaki Borg, M., Klasson, J., Nordin, A. 2023. Läkemedelsreduktion vid ureabehandling av källsorterat klosettavloppsvatten. (Avfall Sverige No. 2023:14). Uppsala.
- Malovanyy, A., Johannesdottir, S., Schwede, S., Ahlgren, S., Flodin, E., Shanmugam, K. 2022. Återvinning av -näringsämnen från avlopp (No. 2022– 06). *Svenskt Vatten Utveckling*.
- McConville, J.R., Metson, G.S., Persson, H. 2023. Acceptance of human excreta derived fertilizers in Swedish grocery stores. *City and Environment Interactions* 17, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100096>
- Melo, A., Quintelas, C., Ferreira, E.C., Mesquita, D.P. 2022. The Role of Extracellular Polymeric Substances in Micropollutant Removal. *Front. Chem. Eng.* 4.
- Muys, M., Phukan, R., Brader, G., Samad, A., Moretti, M., Haiden, B., Pluchon, S., Roest, K., Vlaeminck, S.E., Spiller, M. 2021. A systematic comparison of commercially produced struvite: Quantities, qualities and soil-maize phosphorus availability. *Sci. Total Environ.* 756, 143726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143726>
- Nilsson, D., Karpouzoglou, T., Wallin, J., Blomkvist, P., Golzar, F., Martin, V. 2023. Is on-property heat and greywater recovery a sustainable option? A quantitative and qualitative assessment up to 2050. *Energy Policy* 182, 113727. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113727>



- Norlin, K., Wahlund, I. 2017. Kommunikation för acceptans av kretsloppsanpassade avloppssystem.
- NSVA 2023. Helsingborg: Tre rör ut [WWW Document]. NSVA - Proj. URL <https://projekt.nsva.se/kommuner/helsingborg/tre-ror-ut/> (accessed 7.5.23).
- Olsson, V. 2019. Vill DU återanvända grävatten? En framtida fråga. Lund: Examensarbete, Lunds Universitet.
- Pathiranage, W.B., Bray, L., Jones, K., Redwine, N., Saralvarez, J., D'Alessio, M. 2024. Perception and acceptance towards water reuse in the Southeast United States: A public survey. *Science of The Total Environment* 908, 168224. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168224>
- Paulsson, M. 2020. Sammanfattande Slutrapport För Projektet Rest till Bäst (Steg 2) <https://biokol.org/publikationer/pdf/sammanfattande-slutrapport-steg-2>.
- Regeringskansliet 2020. Remiss av Hållbar slamhantering, betänkande SOU 2020:3 [WWW Document]. Regeringskansliet. URL <https://www.regeringen.se/remisser/2020/02/remiss-av-hallbar-slamhantering-betankande-sou-20203/> (accessed 7.5.23).
- Rosengren, I. 2019. Fosfor från Marocko styr världens matproduktion [WWW Document]. forskning.se. URL <https://www.forskning.se/2019/08/08/fosfor-fran-marocko-styr-varldens-matproduktion/> (accessed 10.11.23).
- Salmonsson, T., Jönsson, K., Andersson, S., Bergslilja, E., Erikstam, S. 2017. Sidostromshydrolys och biologisk fosforavskiljning på svenska avloppsreningsverk (No. 2017– 06). Svenskt Vatten Utveckling.
- SCB 2022. Produktion och användning av slam, ton torrs substans efter användningskategori och vartannat år. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T03/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T03/table/tableViewLayout1/) (accessed 11.23.23).
- Setra, 2018. Setra Heby bevattnar timret med renat avloppsvatten [WWW Document]. Setra Group. URL <https://www.setragroup.com/sv/hallbarhet/gronsamma-framsteg/setra-heby-bevattnar-timret-med-renat-avloppsvatten/> (accessed 4.24.24).
- Simha, P., Barton, M.A., Perez-Mercado, L.F., McConville, J.R., Lalander, C., Magri, M.E., Dutta, S., Kabir, H., Selvakumar, A., Zhou, X., Martin, T., Kizos, T., Katak, R., Gerchman, Y., Herscu-Kluska, R., Alrousan, D., Goh, E.G., Elenciu, D., Głowacka, A., Korculanin, L., Tzeng, R.V., Ray, S.S., Niwagaba, C., Prouty, C., Mihelcic, J.R., Vinnerås, B. 2021. Willingness among food consumers to recycle human urine as crop fertiliser: Evidence from a multinational survey. *Science of The Total Environment* 765, 144438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144438>
- Stockholm stad 2024. Framtidens cirkulära system [WWW Document]. Norra Djurgårdsstaden 2030. URL <http://sveltekit-prerender/kompetens/framtidens-cirkulara-system>.
- Svenskt Vatten 2023a. Regler för certifieringssystemet - Remissutgåva 2024.
- Svenskt Vatten 2023b. Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering [WWW Document]. Sven. Vatten. URL <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/> (accessed 5.31.23).
- Svenskt vatten 2022. Revaq årsrapport 2021 (No. R2022- 02). Stockholm.
- Svenskt Vatten, Livsmedelsverket, Havs och Vattenmyndigheten, Naturvårdsverket, 2022. Vägledning för prioritering av fällningskemikalier inom dricksvattenproduktion och avloppsrening.
- Takman, M., Cimbritz, M., Davidsson, Å., Fünfschilling, L. 2023a. Storylines and imaginaries of wastewater reuse and desalination: The rise of local discourses on the Swedish Islands of Öland and Gotland. *Water Alternatives* 16(1): 207-243



- Takman, M., Svahn, O., Paul, C., Cimbritz, M., Blomqvist, S., Struckmann Poulsen, J., Lund Nielsen, J., Davidsson, Å. 2023b. Assessing the potential of a membrane bioreactor and granular activated carbon process for wastewater reuse – A full-scale WWTP operated over one year in Scania, Sweden. *Science of The Total Environment* 895, 165185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165185>
- Tzanakakis, V.A., Capodaglio, A.G., Angelakis, A.N. 2023. Insights into Global Water Reuse Opportunities. *Sustainability* 15, 13007. <https://doi.org/10.3390/su151713007>
- Tekniska nämnden Gotland, 2005. TN § 96 Avtal – bevattningsanläggning i Roma.
- Toja, S.V. 2024. Would you drink recycled water? *The Conversation* <https://theconversation.com/would-you-drink-recycled-water-224175>
- US EPA 2023. Basic Information about Biosolids [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/biosolids/basic-information-about-biosolids> (accessed 7.5.23).
- Wallin, J., Knutsson, J., Karpouzoglou, T. 2021. A multi-criteria analysis of building level graywater reuse for personal hygiene. *Resources, Conservation & Recycling Advances* 12, 200054. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200054>
- Wetterberg, O., Axelsson, G. 1995. Smutsguld & dödligt hot.
- Wood, A., Blackhurst, M., Lawler, D. 2016. Social Acceptance as a Prerequisite for Social Sustainability 190–196. <https://doi.org/10.1061/9780784479865.020>





## Delsyntes 4b: Risker

Denna delsyntes syftar till att ge en överblick gällande risker förknippade med återanvändning och återvinning av vatten, näringsämnen, energi och andra resurser från avlopp.

Delsyntesen inleds med en kortfattad beskrivning av olika typer av risker som kan uppstå då resurser återvinns och återanvänds samt ger exempel på risker som kan finnas med att inte nyttja resurserna från avlopp. Därefter presenteras projektgruppens samlade bedömning och slutsatser. Avslutningsvis presenteras det underlag som projektgruppens bedömning bygger på för respektive resurs (vatten, näringsämnen, energi och andra resurser). Projektgruppen har främst utgått från erfarenheter utifrån en nationell kontext. I de fall där svenska erfarenheter saknas, inkluderas internationella erfarenheter. Den primära målgruppen för informationen är svenska myndigheter.

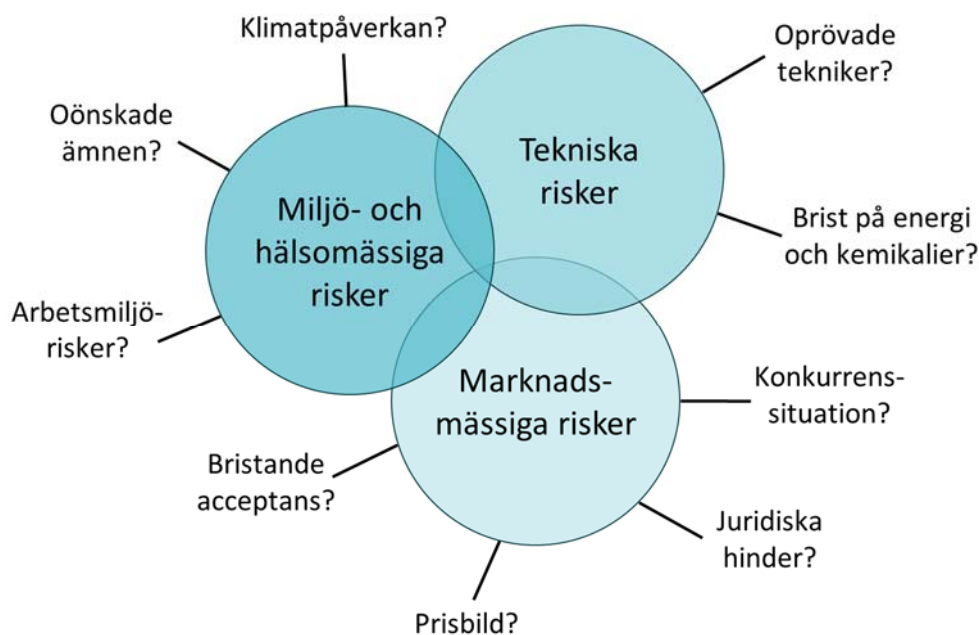
### Innehåll

1	Risker med återanvändning och återvinning av resurser ur avlopp .....	2
2	Projektgruppens samlade bedömning .....	4
3	Vatten .....	7
3.1	Återvändning av gråvatten .....	7
3.2	Återanvändning av renat spillvatten som tekniskt vatten och bevattningsvatten ...	8
3.3	Indirekt återanvändning till dricksvatten .....	9
3.4	Direkt återanvändning till dricksvatten .....	11
4	Näringsämnen .....	12
4.1	Återanvändning av näringsämnen via källsorterade fraktioner .....	13
4.2	Återanvändning av näringsämnen via slamspridning .....	14
4.3	Återvinning av näringsämnen från rejektivatten och andra högkoncentrerade fraktioner .....	16
4.4	Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam .....	16
5	Energi .....	17
6	Andra resurser .....	19
7	Referenser .....	20



# 1 Risker med återanvändning och återvinning av resurser ur avlopp

Med risk avses generellt sannolikheten för att något oönskat ska inträffa. Kopplat till återanvändning och återanvändning av resurser kan det finnas både miljö- och hälsomässiga, samt tekniska och marknadsmässiga risker (Figur 1). När man pratar om risk är det även relevant att definiera för vem den negativa konsekvensen uppstår om det oönskade inträffar.



Figur 1: Möjliga risker med återanvändning och återvinning av resurser ur avlopp.

Miljö- och hälsomässiga risker handlar till stor del om miljöpåverkan som kan orsakas av själva återvinningen, samt att oönskade ämnen kan spridas till akvatiska och terrestra ekosystem och hamna i våra livsmedel. Det kan röra sig om både kända föroreningar och risken för nya föroreningar som ännu inte övervakas (Bünemann et al., 2024). Risken är då att återanvändningen kan skada både människa och miljö.

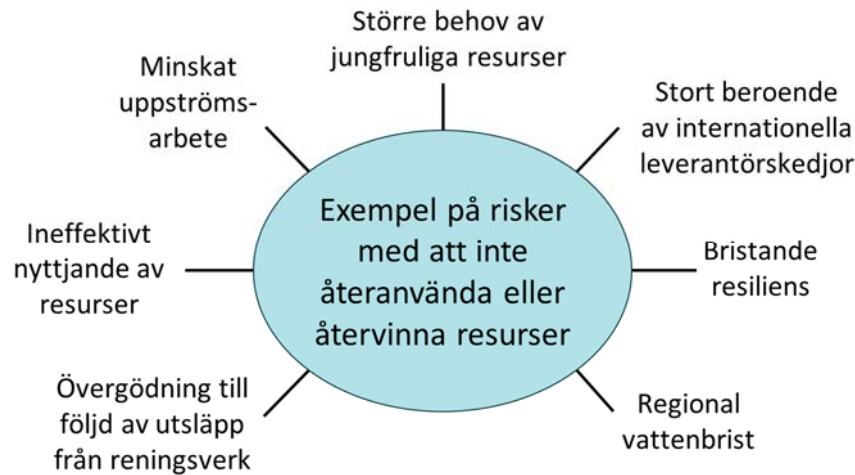
Marknadsmässiga risker innefattar bland annat osäkerhet gällande efterfrågan av produkten som ska tillverkas, vilket både kopplar till acceptans och prisbild, samt konkurrens med andra typer av produkter. För att produkten ska vara gångbar ur ett marknadsmässigt perspektiv krävs ett regelverk som möjliggör för återvinningen och återanvändningen vilket annars riskerar att utgöra ett juridiskt hinder. Marknadsmässiga risker drabbar främst producenten och den som investerat i tekniken, vilka påverkas negativt om produkten inte går att sälja. Andra aktörer kan även drabbas i ett senare led om tekniken inte kan producera den tänkta produkten eller fylla den avsedda funktionen som någon annan aktör är beroende av.

Vissa tekniker för återvinning är relativt oprövade i stor skala vilket kan medföra risker ur teknisk synvinkel (Malovany et al., 2022). För de tekniker som kräver hög energianvändning kan även framtida brist på el (effekt) utgöra en risk för produktionen.



Tekniska risker drabbar främst den som investerat i tekniken, men likt konsekvenserna av marknadsmässiga risker kan även aktörer som är beroende av produkten eller den avsedda funktionen drabbas i ett senare led.

Utöver risker med att återanvända och återvinna resurser ur avlopp finns risker med att avstå från att nyttja dessa resurser (Figur 2).



Figur 2: Exempel på risker med att inte återanvända och återvinna resurser från avlopp

Om resurserna ur avlopp inte nyttjas behöver motsvarande mängd tillhandahållas från jungfruliga resurser. En linjär hantering och bruk av jungfruliga resurser kan medföra ökade samhällskostnader och negativa miljökonsekvenser. Med näringsämnen som exempel så kommer näring behöva tillföras jordbruksmarken även om näringen i avlopp inte nyttjas genom återvinning eller återanvändning. Alternativet mineralgödsel är problematisk bl.a. på grund av en stor miljöpåverkan vid användning av naturgas för kvävegödselproduktionen samt brytning av fosfatmalm för framställning av fosformineralgödsel (Jönsson, 2019). Att samhällskritiska funktioner, som till exempel livsmedelsförsörjning och vattenförsörjning, är beroende av leveranskedjor utanför Sverige är förenat med betydande risker kopplat till beredskap och totalförsvar (Eriksson, 2018). En cirkulär resurshantering med återvinning och återanvändning kan minska detta beroende och öka Sveriges resiliens inte bara i kristider (Eriksson, 2018). I områden som exempelvis har ont om vatten under delar av året kan även en cirkulär hantering av vatten minska risken för vattenbrist.

Att konstant mata systemet med nya externa resurser som till exempel näringsämnen via mineralgödsel i stället för att återanvända den näring som redan finns i systemet medför att ständigt ökande mängder näringsämnen är i omlopp. Hanteringen av kväve och fosfor sker idag på ett ohållbart sätt vilket resulterat i att de planetära gränserna för biogeokemiska flöden passerats (Richardson et al., 2023; Steffen et al., 2015). Exempelvis visade en dansk studie på att ett reningsverks utsläpp av kväve och fosfor var 16 gånger högre än vad som är hållbart sett till en rättvis fördelning av planetens resurser (Ryberg et al., 2021). Utsläpp av kväve och fosfor bidrar till problem med övergödning. Varje kubikmeter av vatten eller kilogram av fosfor eller kväve som återvinns istället för att släppas ut till recipienten medför en reducerad miljöbelastning.



Även utan återanvändning behöver resurser som till exempel näringsämnen i avloppsfraktionerna hanteras. Om man inte nyttjar exempelvis näringsämnen behöver dessa avskiljas och hanteras, vilket medför kostnader och behov av insatsvaror. Avloppsslam kommer oavsett uppstå och behöva hanteras, vilket medför samhällskostnader och andra miljökonsekvenser (Jönsson, 2019).

I Sverige utför VA-organisationer ett omfattande uppströmsarbete för att reducera mängden föroreningar i avloppsfraktioner till exempel genom förebyggande arbete som Revaq. En återanvändning av resurser från avloppsfraktioner innebär i vissa fall en extra drivkraft för detta uppströmsarbete (samtidigt som ett aktivt uppströmsarbete är en förutsättning för att möjliggöra en säker återanvändning av tillvaratagna resurser). Utan återanvändning riskerar denna drivkraft att minska (Holmgren et al., 2020).

En riskaspekt som lyfts från externa aktörer är kopplat till resursförsörjningen i kristider. Att förlita sig på teknik för återvinning och återanvändning av resurser som näringsämnen från avlopp kan vara både fördelaktigt och riskfyllt. Återanvändning bidrar till hållbarhet och minskar behovet av import av resurser som i kristider kan riskera att stoppas. Men i en krissituation, särskilt vid krig eller konflikter, finns det även en risk att samhällskritisk infrastruktur som reningsverk kan vara mål för attacker, vilket kan leda till förlust av förmågan att återvinna näringsämnen från avlopp. Detta kan i så fall påverka både jordbruket, vattenförsörjningen och även energiförsörjningen för de delar som baseras på återvunna resurser från avlopp. Ödeläggelse av avloppsreningsverk kan på sikt också påverka folkhälsa. Genom att förstå dessa risker och vidta lämpliga åtgärder kan dock samhällsresiliensen ökas. Följande åtgärder kan t.ex. vidtas för att minimera riskerna:

- **Diversifiering av resurser:** För att minska beroendet av en enda källa, kan en utökad återvinning av olika resurser från avlopp vara fördelaktigt. Här lyfts även aspekten att mindre decentrala anläggningar för resursutvinning är att föredra utifrån totalförsvarsperspektivet.
- **Skydd av kritisk infrastruktur:** Att skydda reningsverk och andra kritiska anläggningar är avgörande.
- **Beredskap:** Utveckling av katastrofberedskap är nödvändigt. Detta inkluderar att ha reserver av resurser och strategier för att snabbt återställa reningsverk om de skadas.

## 2 Projektgruppens samlade bedömning

Projektgruppen bedömer att riskerna med att INTE nyttja resurser ur avlopp är allt för stora för att bortse från, inte minst ur ett resiliens- och totalförsvarsperspektiv. I regel kan samtliga risker med återanvändning och återvinning hanteras genom exempelvis anpassade och tydliga regelverk, tekniska lösningar och övervakning och kontroll, på liknande sätt som i andra samhällsområden. I specifika fall kan dock riskerna med en cirkulär hantering av resurser ur avlopp bedömas så betydande att man bör avstå från återvinning eller återanvändning.

Vilka risker som uppstår i samband med återanvändning och återvinning av resurser från avlopp, och hur allvarliga dessa är, beror på vilken resurs som cirkuleras och från vilken avloppsfraktion. Även vilken teknik eller vilket system som används för återvinningen eller



återanvändningen, samt vad den cirkulerade resursen ska användas till påverkar risker och riksnivån. Risker som finns och som behöver hanteras i varierande grad inkluderar:

- Miljö- och hälsomässiga risker på grund av föroreningar i återvunna resurser eller i restströmmar som uppstår i samband med återvinningen. Själva miljöpåverkan för resursåtervinning från avloppsfraktioner, inklusive lokal miljöpåverkan vid etablering och drift av anläggningen för resursåtervinning, är också en viktig aspekt. Hälsorisker som smittspridning och föroreningar i avloppsfraktioner kan vara skadliga för människor om till exempel avloppsvatten inte renas tillräckligt, vilket då framstår som de mest betydande risker som behöver bemötas. Vissa tekniker kan även medföra arbetsmiljörisker för involverad driftspersonal.
- Marknadsmässiga och ekonomiska risker vid implementering av nya processer och produkter. Risker med bristande acceptans vid införandet av nya teknologier för resursåterutvinning från avloppsfraktioner både på en allmän nivå och från lokalbefolkningen. De juridiska hinder som finns bedöms av projektgruppen utgöra den största risken ur marknadsmässig synvinkel.
- Tekniska risker, särskilt vid implementering av nya processer som inte har föregåtts av till exempel pilottester för att utforska och åtgärda eventuella risker.

Projektgruppen vill poängtera att upplevd risk kan skilja sig från den faktiska risken. Det är viktigt att även upplevd risk tas på allvar då denna, likväl som faktisk risk, kan hindra implementering av cirkulära lösningar. Då det är komplext att bedöma risk är det viktigt att verktyg för riskbedömningar används så att beslut gällande systemval baseras på väl underbyggda fakta. Riskbedömningen behöver omfatta såväl teknoekonomiska analyser som sociala faktorer som acceptans och upplevd risk. Även riskerna med att inte nyttja resurserna ur avlopp behöver inkluderas i bedömningen.

Det krävs satsningar på forskning som undersöker risker med olika systemval och att höjd tas för att hela systemet beaktas för att undvika risken för suboptimering av delar av systemet. Vid jämförande riskbedömningar där flera alternativ undersöks är det viktigt med ett stringent arbetssätt där formulerade risker ska bedömas utifrån samma systemgränser. Det är även viktigt att riskerna bedöms utifrån produktens kvalitet och inte enbart baseras på produktens ursprung.

Vid resursåtervinning från avlopp behöver även risker som ännu inte är helt kända eller kvantifierbara beaktas. Här är försiktighetsprincipen ett användbart tillvägagångssätt som innebär att åtgärder vidtas för att minimera potentiella risker även om bevisen för faktiska negativa effekter inte är fullt etablerade. Detta kan inkludera att sätta strikta gränsvärden för föroreningar, öka reningsnivån eller använda extra försiktighetsåtgärder i processer och tekniker. Genom denna riskhantering möjliggörs att resurser kan återvinnas och återanvändas. Samtidigt behöver de extra försiktighetsåtgärder vara satt på en rimlig nivå i relation till de potentiella riskerna för att inte hindra en resursutnyttjande på grund av orimliga krav.

För att förbättra förståelsen för risker förknippade med återvinning och återanvändning av resurser från avlopp bedömer projektgruppen att följande aktiviteter blir särskilt viktiga att fokusera på:



- Att även ta hänsyn till risker med att inte nyttja resurser ur avlopp och inte enbart uppmärksamma risker med cirkulär hantering.
- Att hela systemet inkluderas vid riskbedömning för att undvika risken för suboptimering.
- Tydlig lagstiftning och vägledning som möjliggör för cirkulära system, tekniker och produkter, vilket minskar risken för marknadsmässiga hinder. Eftersom speciellt okända risker kan uppstå eller förändras över tid, är det viktigt att vara flexibel och anpassningsbar. Regelverk och praxis bör kunna anpassas när ny information blir tillgänglig, vilket innebär att kontinuerlig feedback och förbättringsprocesser är viktiga.
- Insatser för ökad acceptans och kunskapsöverföring. Transparens är avgörande framför allt när risker som inte är helt kända behöver hanteras. Öppen kommunikation med allmänheten om potentiella risker, åtgärder för att hantera dem och vad som görs för att säkerställa säkerheten bidrar till att bygga förtroende och acceptans. En aktiv och kontinuerlig kunskapsöverföring bland experter och mellan berörda organisationer kan också bidra till att sprida kunskap om bästa praxis och nya rön.
- Att de verktyg som finns för att bedöma risker används i högre utsträckning och fortsätter att utvecklas. Även om vissa risker inte kan kvantifieras exakt, kan datormodeller och simuleringar ge insikter om potentiella konsekvenser och hjälpa till att testa scenarier. Dessa metoder kan ge indikationer på var riskerna är störst och vilka åtgärder som kan behöva vidtas för att minska dem.
- För att förstå okända risker kan samarbete mellan olika experter och intressenter vara värdefullt. Involvera forskare, ingenjörer, miljöexperter, hälsoexperter, beslutsfattare och lokala samhällen för att få en mångsidig uppfattning om möjliga risker och lösningar. Konsultationer och expertutlåtanden kan också bidra till att identifiera potentiella risker som inte tidigare beaktats.
- Kontinuerlig forskning på risker med cirkulär hantering av olika resurser för att möjliggöra för bättre beslutsunderlag över tid. De största kunskapsluckorna är kring effekter av okända och kända oönskade ämnen, tillgång på och miljöpåverkan från insatsvaror som energi och kemikalier, men även t.ex. riskerna för det svanka samhället med att avstå från nyttjande av resurserna i avlopp.
- Fortsatt utveckling av tekniker som möjliggör för en säker cirkulering av resurser från avlopp. Här ingår även system för övervakning och kontinuerlig utvärdering som möjliggör att riskerna upptäckas tidigt och åtgärder vidtas.

En del risker som finns vid återvinning och återanvändning av olika resurser från avlopp gäller för flera resurser som t.ex. vatten och näringsämnen. Projektgruppen har valt att beskriva risker ändå i separata delar för de olika resurserna även om viss upprepning och överlapp kan förekomma.



## 3 Vatten

De risker som kan förekomma är i samtliga fall dels kopplade till vilket vatten som ska återanvändas, dels till vilken teknik eller vilket system som används för återanvändningen. Även vad det återanvända vattnet ska användas till inverkar. Under nedanstående underrubriker lyfts några av de risker som kan uppkomma för olika slags vatten.

I samband med diskussionen om risker vid återanvändning av avloppsvatten, bör det framhållas att vi redan idag indirekt återanvänder renat avloppsvatten, även om det inte är planerat. Detta kan även benämnas de facto återanvändning och exempel på detta är intag av råvatten till dricksvattenverk som ligger nedströms avloppsreningsverk, eller i samma sjösystem där avloppsreningsverk släpper behandlat vatten till recipient. I detta sammanhang kan en mer kontrollerad återanvändning av avloppsvatten, med för ändamålet väl anpassade tekniker, innebära lägre risker jämfört med okontrollerad återanvändning.

Nappier et al. (2018) menar exempelvis att risken för mikrobiologiska problem är lägre när renat avloppsvatten återanvänds på ett kontrollerat sätt, jämfört med när det sker automatiskt genom de facto återanvändning.

En potentiell risk med en återanvändning av vattnet som lyfts från externa aktörer är att det vattnet som återanvänds saknas i en annan del av avrinningsområdet där det skulle hamnat om det släpptes i recipienten. Eftersom vattenuttag och återföring av renat spillvatten vanligtvis sker i olika vattenförekomster behöver denna aspekt och relaterade risker beaktas. Generellt innebär dock en återanvändning av vatten också att mindre vatten behöver tas ut från en naturlig vattenresurs för dricksvattenproduktion. Samhällets linjära vattenhantering har över lång tid fört till en omfördelning av vattenflöden i olika ekosystem.

### 3.1 Återvändning av gråvatten

För direkt och indirekt återanvändning av gråvatten (bestående av bad-, disk- och tvättvatten förkortat BDT-vatten) bedöms riskerna främst vara hygieniska och det gäller för den direkta återanvändningen utan avancerad rening (Benami et al., 2016). Med en enkel, men rätt behandling, kan gråvatten användas för exempelvis bevattning och toalettspolning och på ett generellt plan är det värt att poängtera att återanvändning av gråvatten sannolikt främst kommer att ske på fastighetsnivå än på en centraliserad stadsdels- eller stadsnivå. Gråvatten från duschar (att likställa med badvatten i BDT-vatten) som även kan betecknas som "lätt gråvatten" är till exempel den avloppsfraktionen med förväntat lägsta halter smittoämnen, organiska föroreningar, närsalter och andra föroreningar av alla avloppsfraktioner (Eriksson et al., 2002; Isaksson 2023; Shaikh och Ahammed, 2020; Shi et al., 2018; se även Figur 2 och Figur 3 i huvudrapporten). Därefter följer tvättvatten som kan innehålla olika föroreningar som härstammar från smuts och rengöringsmedel men även mikroplaster. Mest innehåll av organiskt material (BOD) och näringsämnen är gråvatten från köken (diskvatten) som innehåller en del oljor, fetter och matrester. Som Shaikh och Ahammed (2020) diskuterar kan dock sammansättning av olika gråvattenfraktioner variera stort beroende på människors vanor. Skurvatten från hushållsrengöring kan t.ex. innehålla flera mikro-föroreningar som t.ex. PFAS som ofta återfinns i damm och som tillförs gråvattenfraktion vid tömning. Eftersom skurvatten



ofta antingen töms i toaletten och då hamnar i svartvattenfraktionen eller i grovdisk så skulle grävattenfraktionen från dusch och bad inte påverkas.

Risker har framför allt identifierats vid användning av obehandlat grävatten då sjukdomsframkallande mikroorganismer identifierats förekomma i olika grävattenfraktioner (Benami et al., 2016). En desinficerande behandling av grävattenfraktioner förre återanvändning anses därför vara ett grundkrav. UV-behandling är en av dessa tekniker som är effektiva om de är rätt utformade och dimensionerade. Membranbehandling genom exempelvis nanofiltrering är en annan teknik som avskiljer bakterier effektivt. Dessutom bör någon form av regelbunden uppföljning av vattnets kvalitet säkerställas. Kopplat till risken med sjukdomsframkallande mikroorganismer kan risken för felkopplingar lyftas fram som potentiellt ökar för system med ökat komplexitet som vid återanvändning av vatten.

En annan tänkbar smittrisk vid återanvändning av grävatten är aerosolbildning, som kan uppstå vid bevattning med vissa tekniker. Riskerna är dock betydligt lägre vid droppbevattning eller underjordisk bevattning. Detta visar på att behovet av behandling av grävatten innan återanvändning också är beroende på bevattningsteknik.

Modellering med hjälp av kvantitativ mikrobiell riskbedömning (QMRA) har dock bedömt infektionsrisken från återanvändning av grävatten som liten (Nappier et al., 2018). Riskscenarier som listats vid QMRA-modellering är 1) oavsiktlig drickande, 2) aerosoler genererade vid behandling, toalettpolning eller bevattningssystem såsom sprinkler, 3) hand-till-mun-kontakt efter trädgårdsarbete, lek eller annan rekreation på bevattnad yta, 4) förtäring av grävattenbevattnad växt, 5) att jord sväljs (småbarn) och 6) handtvätt med grävatten av misstag. Shi et al. (2018) uppskattade hälsoriskerna med hjälp av QMRA för två fall av återanvändning av grävatten, toalettpolning och bevattning. Olika grävattenfraktioner från kök, tvätt och bad/dusch ingick i studien och även olika beteendemönster hos invånare utvärderades. Resultaten visade att grävatten i alla undersökta fall säkert kunde användas efter behandling med endast mikrofiltrering.

USEPA (2012) och WHO (2006) har satt upp standarder för återanvändning av grävatten. De baseras på kvantifiering av traditionella fekala indikatororganismer som t.ex. *E. coli*. De mest effektiva desinfektionsmedlen vid grävattendesinfektion är klor och UV.

### 3.2 Återanvändning av renat spillvatten som tekniskt vatten och bevattningsvatten

Tekniskt vatten avser ofta spillvatten som har renats och som levereras till extern kund. Det kan också vara vatten som används inom den egna verksamheten, men som inte uppfyller kraven för dricksvattenkvalitet. Vid återanvändning av spillvatten som tekniskt vatten kopplas risker dels till vilket ändamål som vattnet ska brukas till, dels vilken kvalitet vatten som ska återanvändas har. Eftersom tekniskt vatten är ett brett begrepp är det för denna användning extra viktigt att vara tydlig med vilket ursprung och vilken kvalitet som vattnet har. Det kan innefatta vilken rening vattnet har genomgått och vilken typ av användning som är aktuell. Med tanke på att användningsområdena kan vara breda, och att vattenkvaliteten är varierande, är de juridiska aspekterna och därmed de varierande risknivåerna troligen den största utmaningen för återanvändning av tekniskt vatten.





Johansson et al. (2022) konstaterar att återvinning av avloppsvatten inte passar in i det regelverk som finns, och många av de projekt som startats för återanvändning av avloppsvatten har stött på hinder hos tillsynsmyndigheterna. Bland de hinder som lyfts fram nämns att det saknas kvalitetskrav för tekniskt vatten och att ansvarsfördelningen mellan producent och brukare vid kvalitetsproblem är oklar. Tekniskt vatten omfattas inte av lagen om allmänna vattentjänster (LAV) och är inte något som VA-organisationer har skyldighet att tillhandahålla. Tillhandahållandet av tekniskt vatten skulle kunna bli en vattentjänst enligt LAV om den nuvarande definitionen "vatten lämpligt för normal hushållsanvändning" ändras. En annan slutsats från Johansson et al. (2022) var att det inte finns någon tydlighet i lagstiftningen som skulle utgöra ett hinder för en VA-organisation att tillhandahålla tekniskt vatten. Utifrån formuleringarna idag krävs det att man särskilt tänker på frågor som gäller ansvar och ekonomi. VA-huvudmän kan välja att tillhandahålla ett tekniskt vatten utanför LAV, men då måste huvudmannen bland annat iaktta principerna om självkostnad, likställighet och kommunal näringsverksamhet.

EU-förordning om minimikrav för återanvändning av vatten (2020/741) reglerar användandet av renat spillvatten för bevattning av jordbruksmark, förklassificering och hygienisering av avloppsvatten för bevattning och skapar ett ramverk för riskminimering kring förfarandet (Europaparlamentet, 2020).

Att använda spillvatten för bevattning av åkermark klassas idag som miljöfarlig verksamhet (Naturvårdsverket, 2022). För verksamhetsutövare som inte är vana att arbeta under lagstiftning för miljöfarlig verksamhet kan det innebära en juridisk risk, då regelverken är omfattande.

En annan risk, ur verksamhetsutövarens perspektiv, är att under odlingsåsonger med stor nederbörd riskerar bevattningen att helt eller delvis utebli. Verksamhetsutövaren står då med fyllda bevattningsdammar som måste tömmas, vilket därför kräver behandling av vattnet innan det släpps till recipient. Användandet av bevattningsdammar innebär därför i de flesta fall att verksamhetsutövaren behöver investera i en behandlingsprocess för det till dammarna tillförda vattnet. Även vid andra reningsprocesser för produktion av återvunnet vatten för bevattning utgör ett oförutsägbart behov av bevattningsvatten en ekonomisk risk för verksamhetsutövaren.

Tekniker som används för själva bevattningen med renat spillvatten är relativt enkla metoder, vilket innebär att riskerna kopplade till det tekniska utförandet är låg. Dock kan de ibland långa avstånden från centrala avloppsreningsverk till jordbruk där bevattningsvatten behövs utgöra en ekonomisk risk (Ilias et al., 2014).

### 3.3 Indirekt återanvändning till dricksvatten

Indirekt återanvändning till dricksvatten (Indirect Potable Reuse – IPR) innebär att renat spillvatten (eller fraktioner av, som t.ex. gråvatten) släpps ut i en naturlig vattenresurs som en sjö, flod eller en grundvattenförekomst, innan det tas upp igen för användning. Detta steg av naturlig reningsprocess ger en extra säkerhetsbarriär där vattnet blandas med naturligt förekommande vatten och genomgår ytterligare naturliga reningsprocesser. Själva hälso- och miljöriskerna minskas ytterligare genom inkludering av en naturlig barriär och kan liknas med ren tekniska behandlingssystem för direkt återanvändning till dricksvatten (se nästa avsnitt).



Konceptet med en indirekt återanvändning till dricksvatten är ett effektivt sätt att minska upplevd risk genom att "bryta" den direkta kopplingen till spillvatten som "utgångsråvara" (WateReuse Foundation, 2004). Samtidigt visar flera inspel från olika aktörer att risken för en kontaminering av naturliga vattenresurser med t.ex. mikroföroreningar vid återföring av icke-tillräckligt renat spillvatten behöver tas hänsyn till. Den behandlingen som spillvattnet undergår innan det återförs till den naturliga vattenresurser bli således en avgörande länk för att minska riskerna med en indirekt återanvändning till dricksvatten. En lämplig behandling av råvattnet och kontinuerlig övervakning och kvalitetssäkring av det producerade vattnet är därför av ytterst vikt för att minimera riskerna. Olika erfarenheter återges kortfattat nedan.

### Stengårdens reningsverk

Vid Stengårdens reningsverk har en fullskaleanläggning med olika avancerade reningstekniker uppförts med det primära målet att rena bort läkemedelsrester men även för att undersöka produktion av vatten för indirekt återanvändning via grundvattenåterföring (Ekengren et al., 2020). Den avancerade reningen består av en mikrofiltrering (10 µm) följt av ozonering och sandfilter respektive kolfilter. Syftet med teknikkombinationen är att avlägsna ett brett spektrum av mikroföroreningar där kombinationen ozonering och aktivt kol har visat sig vara mycket effektivt (Baresel et al., 2015; Ekengren et al., 2020). I projekt jämfördes den uppnådda vattenkvaliteten med olika regelverk för både återanvändning av vatten och dricksvatten som visade att vattenkvaliteten var lämpat för en indirekt återanvändning. En avslutande desinficering rekommenderades dock för att även säkerställa en säker återanvändning. Eftersom gränsvärdena för PFAS i dricksvatten har sänkts betydligt (LIVSFS 2022:12) kan det dock vara aktuellt att se över PFAS-reduktionen i systemet.

Bildande av bromat från ozonoxidation vid förekomst av bromid i spillvatten är en känd utmaning med risk för negativa hälsoeffekter och för dricksvatten appliceras därför ett gränsvärde på 10 µg/l (WHO/SDE/WSH/05.08/78). Vid Stengården reningsverk överskred bromathalter redan i inkommande spillvatten detta gränsvärde och med högre applicerat ozondos ökade dessutom bildning av bromat. Analyser efter aktivkolfiltrering under långtidsutvärdering indikerade dock också att bromathalten kunde sänkas till under 5 µg/l i det återvunna vattnet (Ekengren et al., 2020).

Den initiala ekonomiska utvärderingen av den avancerade reningen vid Stengårdens reningsverk indikerade också att kostnader för att ta fram återvunnet vatten för en indirekt återvinning bedömdes med ca 1 kr /m<sup>3</sup> återvunnet vatten som relativt låga (dock utan den avslutande desinfektionen medräknat).

### Pure Water San Diego

I Pure Water San Diego projektet<sup>1</sup> utvärderades olika reningssteg med bl.a. aktivt kol, ozonering, omvänd osmos (RO) och UV/AOP för rening av spillvatten för en efterföljande återföring till olika reservoarer för dricksvattenproduktion. Sedan 2011 har ca 4 000 m<sup>3</sup> dagligen producerats och återanvänts. För att visa att riskerna kan kontrolleras har > 50 000 vattenkvalitetstester genomförts som visar att vattnet är säkert och uppfyller alla federala och statliga dricksvattenstandarder.

<sup>1</sup> <https://www.sandiego.gov/public-utilities/sustainability/pure-water-sd>



Den omfattande riskarbete inom Pure Water San Diego projektet inkluderade även en jämförande bedömning av olika risker för olika systemlösningar. Även ekonomiska risker utvärderades tidigt i projektet och ledde till exempel fram till genomtänk placering av viss infrastruktur för synergier med existerande infrastruktur och minimerade investerings- och driftkostnader.

Även vid pilottester med olika tekniker i Pure Water San Diego-projektet har bromatbildningen över ozoneringen varit en utmaning som dock kunde lösas genom att bildat bromat togs bort i RO-steget som följde efter ozoneringen. Membranfilter för omvänd osmos (RO) är generellt effektiva för avskiljning av olika sorters mikroföroreningar. Användning av konduktivitetsmätare i permeat- och rejektvattenströmmarna gör det enkelt att övervaka processens funktion då minskad reningseffekt korrelerar mot ökad konduktivitet i permeatet. Detta är ett enkelt och effektivt sätt att minska tekniska risker.

### 3.4 Direkt återanvändning till dricksvatten

En indirekt och direkt återanvändning till dricksvatten behöver principiellt hantera liknande risker. Jämfört med indirekt återanvändning av avloppsvatten finns det ur säkerhetssynpunkt både möjligheter och risker med direkt återanvändning av renat spillvatten (Direct Potable Reuse – DPR). En fördel är att naturliga vattenresurser inte används som del av återanvändningskonceptet och risken för att förorena dessa finns därmed inte heller. Till de mer uppenbara nackdelarna hör att en eventuell förorening som inte renats bort mycket snabbt sprider sig i ledningssystemet och till slutanvändaren. Ur ett riskhanteringsperspektiv är borttagningen av patogener den viktigaste frågan eftersom en kortvarig exponering kan leda till omedelbart sjukdomsutbrott. Som vid beredningen av dricksvatten hanteras dessa risker genom tillräckligt antal barriärer mot mikrobiologisk förorening. En kortvarig exponering för andra mikroföroreningar kan däremot, med få undantag, anses som en icke akut fara med negativa hälsoeffekter. Jämfört med en indirekt återanvändning, där återvunnet vatten blandas och därmed späds ut med naturliga vatten, så är utspädningseffekten vid en direkt återanvändning i ett slutet system begränsad.

System för en direkt återanvändning till dricksvatten kräver en hög nivå av teknisk tillförlitlighet och kvalitetssäkring. Fel i reningsutrustningen, övervakningssystem eller mänskliga misstag kan leda till allvarliga konsekvenser, eftersom det inte finns samma möjligheter till lagring för att utjämna fel som vid en indirekt återanvändning till dricksvatten.

En annan risk är att det kan vara svårt att få allmänhetens acceptans för en direkt återanvändning till dricksvatten, eftersom människor ofta har en psykologisk motvilja mot tanken på att dricka återvunnet avloppsvatten. Det finns exempel på att acceptansproblem med denna typ av direkt återanvändning av renat vatten till dricksvatten lett till stora problem (Radcliffe och Page, 2020).

Även om en direkt återanvändning till dricksvatten inte finns etablerat i Sverige idag så finns flera anläggningar i världen som indikerar att riskerna kan hanteras (VA Syd och Sydsvatten, 2021.).



## 4 Näringsämnen

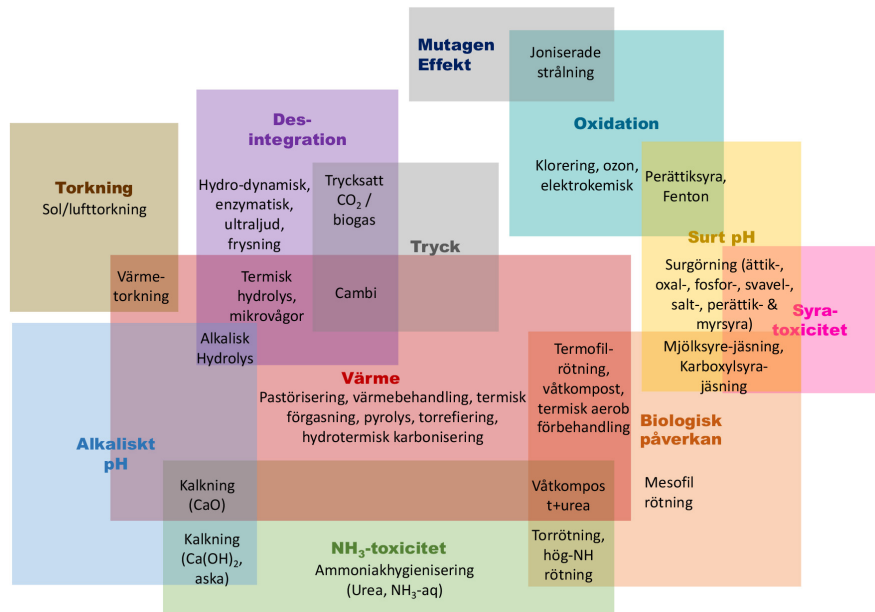
Ur näringssynpunkt är syftet med återanvändning och återvinning att återföra viktiga ämnen från avlopp till jordbruksmark. Riskerna med denna cirkulära hantering är därför främst kopplade till miljö- och hälsa genom att oönskade ämnen tillförs jordbruksmark och vidare till livsmedelskedjan eller till vattendrag. De oönskade ämnena kan exempelvis vara tungmetaller, mikroplaster, läkemedelsrester, andra oönskade organiska ämnen och olika smittoämnen (Bünemann et al., 2024).

Ur ett marknadsmässigt avseende kan avancerade och resurskrävande tekniker medföra risker för en hög miljöbelastning och höga kostnader. Ytterligare en risk är att acceptansen för återanvända produkter kan bli låg om marknaden fokuserar mer på ursprung än på kvalitet.

Om ovan nämnda risker är aktuella eller inte beror på vilken avloppsfraktion som avses, vilken teknik eller vilket system som används för återanvändningen eller återvinningen av näringsämnen, samt vad den cirkulerade fraktionen ska användas till. Under nedanstående underrubriker lyfts några av de risker som kan uppkomma vid olika slags återanvändning och återvinning av näringsämnen.

Ett generellt sätt att hantera vissa risker är genom certifieringssystem. För källsorterade avloppsfraktioner finns SPCR 178. Revaq-certifierade reningsverk kan från år 2024 återanvända avloppsslam, slamkol och renat avloppsvatten. Reningsverket ska då, förutom att uppfylla gällande lagkrav, även uppfylla Revaqs regler avseende ett ständigt förbättringsarbete uppströms, i reningsprocessen och nedströms. Arbetet med Revaq syftar till ständigt förbättringsarbete, öppen och transparent information samt att näringsämnen från avlopp ska produceras ansvarsfullt, vilket bidrar till att minska risker vid återanvändning (Svenskt Vatten, 2024).

För att inte återanvändning eller återvinning av näringsämnen ska utgöra en risk för smittspridning är hygienisering en viktig del för alla avloppsfraktioner. En hygieniserande effekt kan uppnås på olika vis vilket, illustreras i Figur 3. Figuren är framtagen i syfte att illustrera avdödningsfaktorer för slamhygienisering, men principerna bedöms vara relevanta även för andra avloppsfraktioner än slam.



Figur 3: Illustration hämtad från Johannesdottir et al. (2023) som visar gruppering av tekniker relevanta för slambehandling utifrån huvudsaklig avdödningsfaktor. Varje färgat fält motsvarar en avdödningsfaktor, och placering av teknik i överlappande fält visar att fler avdödningsfaktorer identifierades (är troliga) för tekniken/processen.

#### 4.1 Återanvändning av näringsämnen via källsorterade fraktioner

Beroende på om det avloppsvatten som återanvänds för bevattning härstammar från ett spillvatten, ett källsorterat svartvatten eller ett renat spillvatten är riskerna olika. Detta beror på typen och omfattningen av oönskade ämnen kan vara annorlunda beroende på vattnets ursprung. I det källsorterade svartvattnet finns höga halter av näringsämnen och bakterier, medan man kan förvänta sig en mindre mängd oönskade ämnen än t.ex. i hushålls spillvatten där även gråvattnet ingår. Behov av hygienisering är troligen påtagligt större för svartvattnet då innehållet av patogener är större. Dock kvarstår också för det behandlade spillvattnet ett hygieniseringsbehov före användning.

För Revaq-certifierade verk gäller förutom generella krav att vattnet ska ha genomgått läkemedelsrening innan spridning, som ytterligare ett led i att minska miljö och hälsomässiga risker för spridning av oönskade ämnen (Revaq, 2024).

Flera stora projekt med källsorterande avloppssystem pågår. Exempelvis "Tre rör ut" i Oceanhamnen, Helsingborg (NSVA, 2023) och "Framtidens cirkulära system" i Norra Djurgårdsstaden, Stockholm (Stockholm stad 2024). "MACRO-projektet" beskriver bland annat de samhällsekonomiska nyttor som källsorterande system förväntas ge (af Petersens och Strand, 2022). Att flera större projekt kring källsorterade system fått finansiering visar på intresse för att utveckla tekniken. Men ny teknik och hanteringssystem innebär samtidigt nya tekniska risker. Dessutom finns en ekonomisk risk för källsorterade avlopp i form av ett bristande intresse i de produkter som tas fram, samt med den separata logistiken som krävs för hantering av relativt små produktmängder. För att minska riskerna har Avfall Sverige tagit fram en kvalitetssäkring, så att produkten kan P-märkas och certifieras enligt SPCR 178 (Avfall Sverige, 2018).



För att minimera riskerna vid återvinning och återanvändning av näringsämnen från källsorterade avloppsfraktioner behövs robusta renings- och hygieniseringsprocesser, tydliga regleringar/certifieringar och en effektiv övervakning. Samtidigt bör information och utbildning ges för att öka både allmänhetens och böndernas acceptans och förståelse för säkerhetsåtgärderna bakom dessa processer.

## 4.2 Återanvändning av näringsämnen via slamspridning

För att undersöka miljö- och hälsomässiga risker med slamspridning har systematiska långtidsstudier utförts. Leander et al. (2023) presenterar 40 års erfarenhet av slamspridning från slamförsök som utförts i Malmö och Lund. I sammanställningen presenteras bland annat resultat från studier som undersökt risker kopplat till övergödning, spridning av tungmetaller, mikroplaster, oönskade organiska ämnen samt antibiotikaresistens. I rapporten dras slutsatsen att slamspridningen inte har orsakat ett ökat växtupptag av tungmetaller, och att varken mikroplast eller antibiotikaresistens ser ut att skapa negativa effekter i slamgödslad jord i Sverige idag. Dock konstateras också att halter av flera föroreningar som tungmetaller och mikroplaster ökat i slamgödslad jord och att en fortsatt övervakning behövs. Ett flertal oönskade organiska ämnen har studerats av Leander et al (2023), men med hög utspädning i jorden, höga detektionsgränser och svårigheter att avgöra den relativa tillförseln med slam jämfört med tillförsel via atmosfärisk deposition, kunde inga säkra slutsatser dras. Resultat med ökande halter i slamgödslad jord har även Kärrman et al. (2024) även presenterat för PFAS-ämnen. Studien indikerar att spridning av slam påverkar koncentrationen av PFAS (per- och polyfluorerade alkylsubstanser) i jord och dagmask på lång sikt, men någon ackumulering i höstvetete kunde inte konstateras.

Leander et al. (2023) visar jämförelser mellan försöksrutor med och utan slamspridning. Försöken sker i tre olika försöksled med totalt 9 olika sorters försöksrutor vilka presenteras i Tabell 1. För bedömning av risker med oönskade ämnen jämförs medelvärden i försöksled B (normalgiva slam) med medelvärden för försöksled A (inget slam). Denna normalgiva är dock betydligt högre än vad som vanligtvis sprids idag (idag ca 2,5 ton TS per hektar vart 4:e år). Medelvärdet för dessa tre försöksled visar att halterna av kvicksilver och koppar i jord är högre i försöksrutorna med slamspridning än utan slamspridning (20–28 % för Hg, 41–51 % för Cu) för åren 1981–2022. Även halterna av zink i jorden i försöksrutorna har ökat, men i lägre grad (6–14 %). För bly (2–6 %), kadmium (1–2 %) krom (1–3 %) och nickel (0–2 %) är ökningen i jorden betydligt lägre. Växtupptaget av bly, kadmium, kvicksilver, krom, zink och nickel skiljer sig inte mellan slamgödslade och inte slamgödslade försöksled. Halterna av kvicksilver, bly och krom i gröda har dock mestadels varit under detektionsgränserna vid undersökningar under de senaste 15 åren (Leander et al., 2023). För koppar tenderar halterna generellt att vara något högre i gröda för de slamgödslade leden.



Tabell 1: De olika försöksrutorna som undersöktes i Leander et al. (2023). För bedömning av risker med oönskade ämnen jämförs medelvärden i försöksled B med medelvärden för försöksled A.

Tillförsel av mineralgödsel	Tillförsel av slam		
	A: Inget slam	B: "Normalgiva" slam 4 ton TS per hektar vart 4:e år	C: 3 x "normalgiva" slam 12 ton TS per hektar vart 4:e år
1: Ingen mineralgödsel	A1	B1	C1
2: Halv kvävegiva hel kaliumgiva	A2	B2	C2
3: Hel kvävegiva hel kaliumgiva	A3	B3	C3

Inom projektet lyfte flera organisationer fram att det är bra att effekten av kända föroreningar som återförs till åkermark via t.ex. slamspridning undersökt genom olika studier. Samtidigt påpekades det till utmaningen att det finns ett stort antal ännu icke-undersökta eller okända föroreningar i slammet som gör en samlad riskbedömning svårt.

Eftersom slamspridning utförs med tunga fordon, innebär slamspridning även en risk för kompaktering av åkermarken vilket kan påverka jordhälsan negativt (EU Soil Strategy, COM/2021/699). I övrigt bedöms tekniska risker som relativt små, då tekniken har tillämpats i fullskala under en lång tid.

Ur marknadsmässig synvinkel kan det finnas risker att den lokala marknaden mätas kopplade till den många gånger stora mängden slam som produceras i en tätort i förhållande till hur stor jordbruksareal som brukas i närheten. En annan risk med slamspridning är den skiftande opinionen som kan göra att acceptansen, även där sådan finns idag, avtar och att avsättningsmöjligheter för slammet kan minska. Under historien har sådana typer av avbrott i acceptans uppstått, till exempel år 1999 efter upptäckten av bromerade flamskyddsmedel i slammet (Kärrman et al., 2007). Upptäckten gjorde att LRF valde att bryta den dåvarande slamöverenskommelsen som fattades 1994 med Naturvårdsverket och VAV (nuvarande Svenskt Vatten).

Trots att riskerna med näringsåtervinning via slamspridning enligt Leander et al. (2023) anses vara låga idag, finns en risk att oönskade ämnen om även i små mängder tillförs åkermark under en lång tid. I framtiden kan det eventuellt riskera att sänka värdet på marken, eller i värsta fall göra den obrukbar. En jämförelse kan vara användningen av brandskum innehållande PFAS som tidigare ansågs som ofarligt, men som idag anses utgöra en allvarlig hälsorisk. Bünemann et al. (2024) poängterar att riskanalyser måste inkludera risken för nya och potentiellt hälsofarliga föroreningar samt interaktioner mellan ett flertal ämnen. Resultat från långtidsstudier i fält tyder dock på att jordar är mer resilianta och har kapacitet att bryta ner och stabilisera föroreningar i större utsträckning än vad som ofta antas (Bünemann et al., 2024).

För såväl kända som okända föroreningar som tillförs avloppssystemet och som avskiljs i avloppsreningsverk till slam gäller dock att föroreningarna riskerar att spridas till miljön via slamhantering. Hur stora riskerna är för spridning till miljön från andra slamhanteringsmetoder, som tillverkning av anläggningsjord och användning av denna är dock ej studerat i det underlag vi kunnat identifiera.



### 4.3 Återvinning av näringsämnen från rejektivatten och andra högkoncentrerade fraktioner

Risker med näringsåterföring från högkoncentrerade fraktioner kan skilja sig åt, både beroende på fraktionen i sig och utifrån återvinningsteknik och tillämpning.

Avseende miljö och hälsomässiga risker från oönskade ämnen exempelvis mikroplaster, PFAS och andra miljöstörande ämnen, anses risken vara mindre från källsorterade avloppsfraktioner såsom svartvatten eller urin, då många av oönskade ämnen kommer från andra fraktioner som gråvatten eller tillskottsvatten. Risken kan vara högre för rejektivatten från blandat spillvatten, som förutom hushållspillvatten kan innehålla industrispillvatten samt dagvatten. I samtliga avloppsfraktioner finns risk för smittoämnen som behöver hanteras (Ekane et al, 2021). I fraktioner som innehåller svartvatten finns risker för läkemedelsrester och metaller.

Vilken teknik som används för återvinning av näringsämnen påverkar om föroreningarna i avloppsfraktionerna följer med till produkten. Som exempel följer inte tungmetaller och organiska föreningar med vid struvitutvinning (Valeur and Thelin, 2016). Dock kan tekniska risker uppstå vid återvinning genom t.ex. struvitutfällning då tekniken är relativt omogen och har begränsad tillämpning för återvinning av näringsämnen vid svenska reningsverk (Malovanyy et al., 2022). Vid en risksituation kan även tillgång på el och andra insatsvaror skapa problem, som i sin tur kan medföra en marknadsmässig risk vid bristsituationer eller eskalerande priser. Igensättning och andra tekniska risker med problem vid drift av anläggningen är kända i samband med vissa återvinningstekniker, exempelvis vid tillverkning av struvit.

EU:s gödselproduktförordning (2019/1009) som trädde i kraft i juli 2022 behandlar handel med gödsel mellan länder inom EU. Förordningen syftar till att skapa harmoniserade villkor för CE-märkning av gödselprodukter och underlätta för handel av gödselprodukter inom EU, samtidigt som gödselprodukter fortsatt kan säljas inom respektive land enligt landets lagar (af Petersens & Strand, 2022). I förordningen ingår utöver mineralgödsel även organiska gödselprodukter och restprodukter som kan ingå i en cirkulär livsmedelsproduktion. Bland annat är förbränningsaska och fosforsalter, så som exempelvis struvit från avlopp och slam, tillåtet för handel över gränserna. Enligt förordningen 2021/1165 kan återvunnen struvit och utfällda fosfatsalter användas för ekologiskt jordbruk om den uppfyller kraven i gödselproduktförordningen 2019/1009 (EU-kommissionen, 2023). Godkännandet innebär tillåten användning av gödselmedlet i hela EU vilket ger en minskad ekonomisk risk för de produkter som godkänns enligt lagstiftningen.

### 4.4 Återvinning av näringsämnen från termiskt behandlat slam

Gällande miljö- och hälsomässiga risker uppnås oftast en god hygieniserande effekt vid termisk behandling av slam, vilket minimerar risken för spridning av smittoämnen. Via värmebehandling uppnås tillräcklig hygieniserande effekt för användning på mark efter exempelvis 24 h över 52 °C eller 1 h över 65 °C (Naturvårdsverket, 2013). Med olika tekniker av förbränning och efterbehandling uppnås även en betydande reduktion av föroreningar (Malovanyy et al., 2022). Reducerade föroreningshalter kan minska de miljö- och hälsomässiga riskerna samt den marknadsmässiga risken utifrån ett acceptansperspektiv. För pyrolys och HTC kan halten av föroreningar minska men det beror på hur processen utformas. Det saknas i dagsläget långtidsstudier över risker förknippade med spridning av





exempelvis slamkol på jordbruksmark vilket gör det svårt att uppskatta riskerna med användningen.

Teknikerna med förbränning, pyrolys och HTC samt efterbehandling kan vara relativt avancerade och ha en hög energiförbrukning vilket kan innebära en risk om energibehovet inte kan tillgodoses. Ytterligare processteg kan krävas för att skapa en produkt med önskvärda egenskaper för spridning på jordbruksmark vilket kan medför kostnader och behov av tillsatser som medför risker ur marknadsmässig synvinkel. En ytterligare risk kommer av att det i dagsläget inte finns en etablerad marknad för jordbruksanvändning av dessa produkter. Oklarheter finns även kring juridiska aspekter för spridning av slamaskor och slamkol. En nyhet för 2024 är att slamkol från Revaq-certifierade verk kommer att kunna erbjudas enligt Revaqs regler (Svenskt Vatten, 2024).

## 5 Energi

De potentiella riskerna som finns vid återvinning och återanvändning av energi från avloppsfractioner kan övergripande betecknas som avsevärt mindre och av annan karaktär än vid återvinning och återanvändning av andra resurser såsom vatten och näringsämnen enligt diskussionen i föregående avsnitt. Detta gäller framför allt eftersom den termiska eller kemiska energin som finns i avloppsfractioner återvinns genom en överföring eller omvandling till andra energiformer. Riskerna som kan uppstå är därför framför allt kopplade till processer och system för återvinning av energin, och inte till själva användningen av den återvunna energin. Underlaget gällande riskbeskrivning i samband med energiåtervinning från avloppsfractioner är dock mycket begränsade och beskrivning av olika aspekter baseras därför främst på Projektgruppens bedömning.

Biogasproduktion från avloppsslam och användning av biogas i Sverige är ett exempel där det finns uppenbara risker vid hantering och transport i form av explosionsrisk, läckage och olyckor. Felaktig hantering kan orsaka allvarliga incidenter. Även utsläpp av metan, en kraftfull växthusgas, kan ske vid läckage under produktion, lagring eller transport. Generellt kan dessa risker dock hanteras via lämpliga säkerhetsåtgärder vid hantering och användning av biogas.

En risk som lyfts fram av framför allt VA-huvudmän är att en utvinning av värmeenergin från hushållspillvatten kan leda till en lägre inloppstemperatur till avloppsreningsverket som i sin tur påverka reningsprocesserna på verket negativt framför allt vintertid (Arnell et al., 2021; Nilsson et al., 2023). Ifall denna risk inte kan styrkas eftersom det största värmeenergin ändå går förlorat i spillvattennätet så riskerar istället att en värdefull resurs inte nyttjas för en ökad energieffektivitet i svenska hushåll. Forskningsresultaten visar här på olika resultat, beroende på hur systemavgränsningarna angetts (Arnell et al., 2021; Nilsson et al., 2023).

Miljö- och hälsomässiga risker kan finnas genom diverse föroreningar i restfractioner som uppstår i samband med energiåtervinning från avloppsslam, såsom via pyrolys eller förbränning. Föroreningarna kan vara skadliga för både miljön och människors hälsa och en effektiv hantering av dessa restströmmar behöver säkerställas för att minska risken för utsläpp av skadliga ämnen till luft, vatten och mark. Hanteringen inkluderar även själva arbetsmiljön vid energiutvinningsanläggningen.



Själva miljöpåverkan för energiåtervinning från avloppsfraktioner är också en viktig aspekt som behöver tas hänsyn till vid implementeringen. Själva energiåtervinningen kräver resurser för processetablering och drift. Miljöpåverkan bör vara lägre än miljönyttan som energiåtervinningen medför, vilket innebär att utsläpp av föroreningar och resursanvändning behöver minimeras.

Vid en återvinning av värmeenergi från obehandlade avloppsfraktioner som till exempel hushållspillvatten eller gråvatten i hushåll eller närområde som beskrivs i Delsyntes 2c: Energi, krävs att hänsyn tas till lämpliga utformningar av processerna för att minimera risken för kontakt med och spridning av patogener.

Vid etablering av stora återvinningsanläggningar som till exempel förbränningsanläggningar finns samma risker som vid etablering av liknande infrastruktur inom andra samhällsområden, inklusive etablering av nya avloppsreningsverk. Till detta räknas risken för lokal miljöpåverkan vid etablering och drift av anläggningen. Även om detta inte är unikt för anläggningar för energiåtervinning från avloppsfraktioner, så är det viktigt att utvärdera och ta hänsyn till dessa effekter för att minimera påverkan på ekosystemen i närheten av återvinningsanläggningarna. Införandet av nya anläggningar och installationer för energiåtervinning kan även riskera att möta motstånd från lokalbefolkningen, till exempel vid etablering av teknisk infrastruktur i deras område. Det är viktigt att ha en öppen dialog och involvera samhället i beslutsfattandet för att undvika intressekonflikter bland berörda aktörer.

Även tekniska risker kan finnas, särskilt vid implementering av nya processer. Tekniska risker kan anses som en riskkategori som finns i samtliga samhällssektorer där teknik används och där nya tekniker implementeras. Framst kan dock tekniska risker kopplas till ekonomiska risker. Investeringar i nya teknologier för energiåtervinning från avloppsvatten kan vara kostsamma och innebär i viss mån ett större risktagande vid etablering, vilket kan påverka investeringsbeslut och långsiktig hållbarhet. Om tekniska problem uppstår kan det bli svårare eller dyrare att återvinna energi från avloppsfraktioner, vilket i sin tur också kan påverka marknaden för denna typ av energi.

En annan ekonomisk risk är relaterad till förändrade marknadsförhållanden. Om priserna på fossila bränslen eller el sjunker, kan det göra att energiåtervinning från avloppsfraktioner blir mindre lönsamt.



## 6 Andra resurser

Med andra resurser avses exempelvis sand, metaller, fettsyror och kol. Gällande återanvändning av andra resurser och dess risker är underlaget bristfälligt. Risker kan förekomma likt de för övrig återvinning som beskrivits i föregående avsnitt, till exempel med smittoämnen och oönskade ämnen, men det är oklart till vilken grad. Riskens storlek beror av såväl resursen som återanvänds, som av användningsområdet. Marknadsmässiga risker till följd av låg mognadsgrad och ekonomisk bärighet bör beaktas.

Dokumenterade risker för återvinning av näring, som beskrivits i tidigare avsnitt, förutsätts i huvudsak kunna gälla för dessa resurser. Detta antas gälla för exempelvis miljö- och hälsomässiga risker gällande smittoämnen, toxiska metaller och andra oönskade ämnen. Dock är det oklart till vilken grad. Riskens storlek beror av såväl resursen som återanvänds, som av användningsområdet. Tekniska och marknadsmässiga risker till följd av låg mognadsgrad och osäker ekonomisk bärighet bör beaktas.

Risker för återvinning av fosfor ut slamaska behöver vägas mot förlust av andra miljönyttor som slammet bidrar med. Risker med att återvinna metaller ur slamaska kan vara hög energiförbrukning, där det går åt mer resurser än nyttan som genereras, samt att det är en teknik med låg mognadsgrad.

Vid återvinning av koagulerter, i form av järn- och aluminiumsalter, ses tekniska risker med att tekniken har låg mognadsgrad. Marknadsmässiga risker kan vara bristande avsättningsmöjligheter för den prissättning som krävs, vilket kan ändras vid en bristsituation. Dock är det viktigt att risker såväl som nyttor i dessa fall modelleras eller beräknas i ett helhetssystem där även synergier kan räknas in.

Gällande hälso- och miljömässiga risker vid återvinning av sand från reningsverkens sandfång kan sanden innehålla föroreningar, även efter sandtvätt. Samtidigt kan uttag av naturgrus- och sand minskas i motsvarande omfattning, vilket innebär att det även är en risk med att inte återanvända sand. Risker vid återvinning av cellulosa kan vara risken att det går åt mer resurser vid återvinningen, än den nytta som skulle avses att genereras. Dessutom är det en teknik med låg mognadsgrad, vilket skapar osäkerhetsfaktorer och därmed tekniska risker.

Risker vid återvinning av biopolymerer för internt bruk, exempelvis till slamavvattning, bedöms som låg. Dock är det en teknik med låg mognadsgrad, vilket skapar osäkerhetsfaktorer och därmed viss teknisk och ekonomisk risk. Samtidigt skulle biopolymerern teoretiskt sett kunna ersätta den polymer som idag tillförs vid slamavvattning, vilket innebär att det även är en risk med att inte satsa på att återvinna biopolymer eftersom reningsverkens beroende av externa leverantörer till viss del kan minskas.

Risker bedöms som minimala med återvinning av VFA (flyktiga fettsyror) genom hydrolys. Produktionen sker i interna strömmar i reningsverk, och nyttjas därefter internt som kolkälla vid för att förbättra kväve och eventuell biologisk fosforering. Tekniken är mycket okomplicerad, förbättrar processen och används i full skala vid svenska reningsverk. (Salmonsson et al, 2017). Dock gäller att tekniken, som många andra i detta kapitel är under utveckling och risker förknippade med låg mognadsgrad.



## 7 Referenser

- af Petersens, E., Strand, L., 2022. MACRO 3: Återföring av näring från källsorterade avlopp - nulägesstudie.
- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Avfall Sverige, Kännedom om och inställning till SPCR 178 – resultat från en enkätundersökning, rapport 2018:02.
- Baresel, C., Dahlgren, L., Nikolic, A., de Kerchove, A., Almemark, M., Ek, M., Harding, M., Ottosson, E., Karlsson, J., Yang, J. 2015. Reuse of treated wastewater for nonpotable use (ReUse) - Final Report. IVL Swedish Environmental Research Institute, report B2219.
- Benami, M., Gillor, O., Gross, A. 2016. Potential microbial hazards from graywater reuse and associated matrices: A review. Internationell VA-utveckling 2016. Water Research, 106, pp 183-195.
- Börjesson, G. 2021. Slamspridning på åkermark – mullhaltens betydelse. Svenskt Vatten, rapport nr 2021-9.
- Bünemann, E.K., Reimer, M., Smolders, E., Smith, S.R., Bigalke, M., Palmqvist, A., Brandt, K.K., Möller, K., Harder, R., Hermann, L., Speiser, B., Oudshoorn, F., Løes, A.K., Magid, J. 2024. Do contaminants compromise the use of recycled nutrients in organic agriculture? A review and synthesis of current knowledge on contaminant concentrations, fate in the environment and risk assessment. Science of The Total Environment 912, 168901.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168901>
- Ekane, N., Barquet, K., Rosemarin, A. 2021. Resources and Risks: Perceptions on the Application of Sewage Sludge on Agricultural Land in Sweden, a Case Study. Front. Sustain. Food Syst. 5.
- Ekgren, Ö., Filipsson, S., Baresel, C., Karlsson, J., Winberg von Friesen, L., Blomqvist, S., Hasselgren, M., Grosch, J., Lazic, A., Stapel, H., Fassbender, M., Feldthusen, M., Hellman, J. Nordin, A. 2020. The municipal wastewater treatment plant of the future – A water reuse facility. Evaluation of a full-scale tertiary treatment system for removal of pharmaceuticals and recovery of water at the WWTP Stengården in Simrishamn, Sweden. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C538.
- Eriksson, C. 2018. Livsmedelsproduktion ur ett beredskapsperspektiv - Sårbarheter och lösningar för ökad resiliens (SLU Future Food Reports 1). SLU Institutionen för stad och land, Uppsala.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. Urban Water 4, 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- EU-kommissionen, 2023. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/1165 of 15 July 2021 authorising certain products and substances for use in organic production and establishing their lists (Text with EEA relevance).
- Europaparlamentet, 2020. Europaparlamentets och Rådets Förordning (EU) 2020/741 av den 25 maj 2020 om minimikrav för återanvändning av vatten, OJ L.
- Holmgren, G., K Larsson, F., H Johansson, M., Lindblad Hammar, I. 2020. Hållbar slamhantering SOU 2020:3. Stockholm.
- Ilias, A., Panoras, A., Angelakis, A. 2014. Wastewater Recycling in Greece: The Case of Thessaloniki. Sustainability 6, 2876–2892. <https://doi.org/10.3390/su6052876>
- Isaksson, F. 2023. Greywater reuse for different purposes in Sweden: A literature review. Luleå University of Technology, Luleå.
- Johansson, M., Albinsson, M., Regnell, F. 2022. Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten. SVU-rapport 2022-3. Stockholm, Svenskt Vatten.



- Johannesdottir, S., Nordin, A., Persson, E., Kusoffsky, E., Johansen, A. 2023. Slamhygienisering – kartläggning och utvärdering av tekniker (No. 2023–12), Svenskt Vatten Utveckling.
- Jönsson, H., 2019. Fosfor, kväve, kalium och svavel – tillgång, sårbarhet och återvinning från avlopp (Rapport No. 105). Uppsala.
- Kärman, A., Fredriksson, F., Särnholm, E. 2024. Slamspridning på åkermark – PFAS i slam, jord, gröda och mask. SVU-rapport 2024-5. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Kärman, E., Malmqvist, P.-A., Rydhagen, B., Svensson, G. 2007. Utvärdering av ReVAQ-projektet (SVU No. 2007– 02), Svenskt Vatten Utveckling.
- Leander, A.T., Martinsson, U.D., Wittgren, H.B. 2023. Slamförsök på åkermark i Skåne – 40 års erfarenheter av slamspridning. VATTEN.
- Malovanyy, A., Johannesdottir, S., Schwede, S., Ahlgren, S., Flodin, E., Shanmugam, K. 2022. Återvinning av -näringsämnen från avlopp (No. 2022– 06). Svenskt Vatten Utveckling.
- Nappier, S.P., Soller, J.A., Eftim, S.E. 2018. Potable Water Reuse: What Are the Microbiological Risks? *Curr Environ Health Rep* 5, 283–292. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0195-y>
- Naturvårdsverket 2022. Minimikrav för återanvändning av vatten [WWW Document]. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/regeringsuppdrag/slutredovisade-regeringsuppdrag/atgarder-for-ateranvandning-av-vatten/>. Hämtad den 18 dec 2023.
- Naturvårdsverket 2013. Hållbar återföring av fosfor (No. 6580).
- Nilsson, D., Karpouzoglou, T., Wallin, J., Blomkvist, P., Golzar, F., Martin, V. 2023. Is on-property heat and greywater recovery a sustainable option? A quantitative and qualitative assessment up to 2050. *Energy Policy* 182, 113727. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113727>
- NSVA 2023. Helsingborg: Tre rör ut [WWW Document]. NSVA - Projektwebb. URL <https://projekt.nsva.se/kommuner/helsingborg/tre-ror-ut/> (accessed 7.5.23).
- Radcliffe, J.C., Page, D. 2020. Water reuse and recycling in Australia – history, current situation and future perspectives. *Water Cycle* 1, 19–40. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.005>
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kumm, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L., Rockström, J. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9, eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rosengren, I. 2019. Fosfor från Marocko styr världens matproduktion [WWW Document]. forskning.se. URL <https://www.forskning.se/2019/08/08/fosfor-fran-marocko-styr-varldens-matproduktion/>, hämtad den 10 november 2023.
- Ryberg, M.W., Bjerre, T.K., Nielsen, P.H., Hauschild, M. 2021. Absolute environmental sustainability assessment of a Danish utility company relative to the Planetary Boundaries. *Journal of Industrial Ecology* 25, 765–777. <https://doi.org/10.1111/jiec.13075>
- Salmonsson, T., Jönsson, K., Andersson, S., Bergslilja, E., Erikstam, S. 2017. Sidoströmshydrolys och biologisk fosforavskiljning på svenska avlopps-reningsverk. Svenskt vatten utveckling, rapport 2017-06.
- Shaikh, I.N., Ahammed, M.M. 2020. Quantity and quality characteristics of greywater: A review. *Journal of Environmental Management* 261, 110266. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110266>
- Shi, K. W., Wang, C. W., Jiang, S. C. 2018. Quantitative microbial risk assessment of greywater on-site reuse. *Science of the Total Environment*, 635, 1507–1519.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding



- human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855.  
<https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stockholm stad 2024. Framtidens cirkulära system [WWW Document]. Norra Djurgårdsstaden 2030. URL <http://sveltekit-prerender/kompetens/framtidens-cirkulara-system>.
- Svenskt Vatten 2024. Regler för certifieringssystemet (No. Utgåva 9.0).
- Svenskt Vatten 2023. Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering [WWW Document]. Sven. Vatten. URL <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/>, hämtad den 31 maj 2023
- VA Syd, Sydvatten, 2021. Cirkulär vattenanvändning Utredning av möjligheten att recirkulera renat avloppsvatten från Sjölunda avloppsreningsverk till dricksvatten.
- USEPA 2012. Guidelines for Water Reuse. AR-1530, EPA/600/R-12/618
- Valeur, I., Thelin, G. 2016. Delrapport för Struvitutvinning. EkoBalans Fenix AB.
- WateReuse Foundation, United States (Eds.) 2004. Best practices for developing indirect potable reuse projects: phase 1 report. WateReuse Foundation, Alexandria, VA.
- WHO 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta, and greywater.
- WHO 2016. Overview of greywater management. Health considerations. WHO-EM/CEH/125/E



## Delsyntes 4c: Verktyg

Denna delsyntes syftar till att ge en överblick över olika beslutsstödsverktyg som finns tillgängliga för att utvärdera återanvändning och återvinning av resurser från avlopp.

Delsyntesen inleds med en kortfattad beskrivning av behovet av beslutsstödsverktyg och definitionen för metoder respektive verktyg. Därefter presenteras ett urval av metoder och verktyg som kan vara relevanta för att utvärdera miljöpåverkan och potentialen hos olika systemval för återanvändning eller återvinning. Avslutningsvis presenteras projektgruppens sammanfattning och utblick för området. Projektgruppen har främst utgått från erfarenheter utifrån en nationell kontext. I de fall där svenska erfarenheter saknas, inkluderas internationella erfarenheter. Den primära målgruppen för informationen är svenska myndigheter.

### Innehåll

1	Introduktion.....	2
1.1	Definition av metoder och verktyg .....	2
2	Metoder.....	3
2.1	Livscykelanalys (LCA) .....	3
2.2	Livscykelkostnad (LCC).....	4
2.3	Kostnads-nyttanalys (CBA).....	4
2.4	Materialflödesanalys (MFA).....	5
2.5	Kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA).....	5
2.6	Multikriterieanalys .....	6
2.7	Miljökonsekvensbeskrivning .....	7
2.8	Hälsokonsekvensbedömning .....	7
2.9	Scenarioanalys .....	7
3	Verktyg .....	8
3.1	LCA-verktyg .....	8
3.2	Verktyg för processmodellering .....	9
3.3	Verktyg för utvärdering av klimatpåverkan .....	9
3.4	Verktyg för riskutvärdering .....	9
3.5	Verktyg för utvärdering av resursåtervinningspotentialen .....	10
3.6	Certifieringar och riktlinjer för riskhantering i kretslopp.....	11
3.7	Planeringsverktyg för implementering .....	11
4	Sammanfattning och utblick.....	13
5	Referenser .....	14



# 1 Introduktion

I takt med att samhället strävar mot ökad hållbarhet, växer både kraven och intresset för förbättrad resursåtervinning från våra avloppssystem. Detta kräver utvärdering av möjliga konsekvenser av olika systemalternativ innan storskaliga lösningar implementeras. Den här typen av utvärderingar kan vara komplexa och mångdimensionella, där hänsyn tas till aspekter som miljöpåverkan, sociala faktorer, hälsa, ekonomi och teknik (Figur 1). Det är vanligt att avvägningar måste göras mellan olika, ibland motstridiga, mål.



Figur 1. Exempel på hållbarhetsaspekter att utvärdera vid näringsåtervinning (från Ahlgren et al., 2020).

I denna delsyntes strävar Projektgruppen efter att ge en översikt av några av de metoder och verktyg som kan användas för att bedöma konsekvenser av ökad resursåtervinning från avloppssystem, med fokus på miljöpåverkan/nytta och riskbedömning. Här beskrivs kortfattat principer och användbarhet, och exempel ges på hur dessa metoder och verktyg har använts i svensk kontext. Det tas även upp exempel på handböcker, certifieringar och ramverk som kan vara till hjälp vid planering och implementering av avloppssystem med fokus på resursåtervinning.

## 1.1 Definition av metoder och verktyg

Projektgruppen skiljer på metoder och verktyg, eftersom de har olika men ändå sammanhängande roller. Med metoder avses de tillvägagångssätt eller strategier som utgör den teoretiska grunden för en analys. Vid hållbarhetsbedömningar används ofta systemanalytiska metoder som till exempel livscykelanalys, livscykelkostnadsanalys och multikriterieanalys.

Verktyg, å andra sidan, är de praktiska instrument eller den programvara som tillämpar en eller flera metoder för att underlätta dessa bedömningar. De har ofta ett användarvänligt gränssnitt och är utformade för att tillämpa metoderna i verkliga scenarier. Exempel på detta är programvaror för livscykelanalys som ofta har inbyggda databaser och presenterar överskådliga resultat. I denna rapport används verktyg som ett paraplybegrepp som inkluderar digitala verktyg, men också handböcker, guider, riktlinjer och certifieringssystem etc.





## 2 Metoder

### 2.1 Livscykelanalys (LCA)

LCA är en metod som används för att mäta den samlade miljöpåverkan som en produkt eller tjänst orsakar. En LCA tar inte hänsyn till ekonomiska eller sociala aspekter (som till exempel användarvänlighet). I en LCA undersöks oftast hela produktens eller tjänstens livscykel, från råmaterialhantering och tillverkningsprocess till användning och avfallshantering. LCA kan dock inte svara på om det alternativ som utvärderas är hållbart i någon absolut mening, bara hur alternativets miljöpåverkan är relativt ett annat, under de förutsättningar som råder på platsen. I en LCA ingår vanligtvis följande delsteg:

- **Definition av scenarier/system för jämförande analys:** Man utgår ofta från ett grundscenari, så kallat bas- eller referensfall, som jämförs med nya systemalternativ. Dessa system bör vara relevanta, ha tillräckligt med dataunderlag för analysen och tillhandahålla motsvarande funktioner/tjänster.
- **Definition av systemgränser:** Systemgränser sätts upp för att definiera omfattningen av analysen. Dessa gränser brukar vanligtvis indelas i fyra kategorier: avgränsningar mot naturliga system, geografiska begränsningar, tidsmässiga begränsningar och begränsningar i förhållande till andra produkters livscykler.
- **Val av funktionell enhet:** Miljöbelastning kvantifieras mot ett referensflöde av en massa eller tjänst som motsvarar den funktionella enheten. I resursåtervinning från avlopp kan den funktionella enheten till exempel vara produktionen av ett kilo återvunnet kväve.
- **Miljöpåverkanskategorier:** Potentialen för global uppvärmning, övergödning och försurning är vanliga miljöpåverkanskategorier för den här typen av systemanalyser. Förbrukning av icke-förnybara resurser och påverkan på människors hälsa kan också ingå. För avlopp i kretslopp bör man utöver möjliga miljöbelastningar också inkludera nyttorna från olika system, som återvinning av näring, vatten och energi. Dessa kan tas med som sluppen miljöbelastning då omgivande system avlastas, eller som systemutvidgning, då samtliga jämförda system utformas för att leverera denna näring, vatten och/eller energi.
- **Normalisering:** En normalisering av resultaten kan underlätta förståelsen för storheten av miljöpåverkan, till exempel att klimatutsläppen per person-ekvivalent från de studerade systemen relateras till de totala utsläppen per person och år i Sverige.
- **Känslighetsanalys:** En känslighetsanalys ingår för att identifiera de delprocesser eller delar av analysen som har störst inverkan och hur mycket de påverkar resultaten. Detta är av stor vikt för de parametrar där antaganden görs eller där mätosäkerheter är stora som påverkar resultatens tillförlitlighet.
- **Begränsningar:** Ofta ingår ett antal antaganden som påverkar resultatens tillförlitlighet vilket bör framgå tydligt i känslighetsanalysen.

Ahlgren et al. (2020) ger en utförlig beskrivning av LCA-metoden och rekommendationer för hur LCA kan appliceras i studier om näringsåtervinning från avlopp. De diskuterar också osäkerheterna i LCA-metoden och hur dessa kan hanteras. För innovativa resursåtervinnings-system kan brist på tillförlitliga data vara en stor osäkerhetsfaktor. Erfarna personer bör ingå i studien och en rimlighetsbedömning av initiala resultat bör göras med projektgruppen eller beställaren, liksom en gedigen känslighetsanalys.



I Sverige har flera LCA-studier undersökt miljöpåverkan/nyttan från olika sätt att återföra/återvinna näring från avlopp. Exempelvis Spångberg (2014), där återföring av urin respektive svartvatten jämfördes med konventionell avloppsrening och användning av konstgödsel. Studien visade på lägre energi och klimatutsläpp för de sorterande alternativen, men större risk för övergödning på grund av ammoniakavgång vid lagring och återföring. En studie från Helsingborg utvärderade miljöeffekterna av näringsåtervinning från rejektivatten med NPHarvest-tekniken jämfört med alternativet struvit+ammoniakavskiljning (Högstrand et al., 2023). Teknikerna hade likvärdiga resultat, och utöver fördelen med näringsåtervinning, så bidrog rejektivattenteknikerna också till minskad lustgasavgång i övriga reningsverket. Författarna konstaterar dock att ytterligare utveckling av NPHarvest-tekniken behövs för att minska ammoniakavgång och kemikalieanvändning innan uppskalning.

## 2.2 Livscykelkostnad (LCC)

Utöver utvärdering av miljömässig hållbarhet för avloppssystem är den ekonomiska kostnaden också relevant. Eftersom VA-anläggningar finns kvar under lång tid är det rimligt att utvärdera livscykelkostnaderna som inkluderar kostnader för anläggning, drift, underhåll och även i vissa fall avveckling. I en LCC räknas framtida kostnader och intäkter om till dagens värde, så kallad nuvärdesomräkning. Den uppskattade livslängden på systemet, uppskattade driftskostnader, den valda kalkylräntan (diskonteringsräntan) och uppskattning av restvärde har betydelse för slutresultatet. Hur stor påverkan valet av dessa faktorer har kan utvärderas i en känslighetsanalys där olika scenarion testas. Upphandlingsmyndigheten rekommenderar att använda en kalkylränta som speglar organisationens genomsnittliga lånekostnader och en livslängd som speglar den tekniska livslängden för att värja sig mot risker vid investeringar<sup>1</sup>. Upphandlingsmyndigheten tillhandahåller också ett generellt Excelbaserat LCC-verktyg med de mest grundläggande parametrarna<sup>2</sup>.

## 2.3 Kostnads-nyttoanalys (CBA)

I en kostnads-nyttoanalys jämförs ett projekts eller åtgärds samtliga positiva och negativa konsekvenser i kronor. Om nyttorna överstiger kostnaderna anses projektet eller åtgärden ekonomiskt lönsamt. I en samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys ges monetära värden även till miljönyttor och miljökostnader. Soutukorva Swanberg och Nordzell (2022) genomförde en samhällsekonomisk analys av alternativa avloppssystem för Norra Djurgårdsstaden i Stockholm baserad på kostnads-nyttoanalys. Det monetära värdet på nyttor och kostnader för tre olika VA-system, inklusive ett källsorterat system, utvärderades och jämfördes med referensalternativet som var Henriksdals reningsverk. Syftet med studien var att synliggöra miljönyttor som ofta förbises. Nyttorna som gick att värdera var minskade utsläpp till recipient, bättre hygienisering, utvinning av näringsprodukter, minskade utsläpp av växthusgaser, minskad vattenanvändning, vattenåtervinning och minskad tillförsel av tungmetaller till åkermark. Vid värdering av miljönyttor går det för vissa parametrar att använda schablonvärden från den så kallade prisdatabasen med tillhörande bakgrundsdokument som Naturvårdsverket har tagit fram<sup>3</sup>, i det här fallet värdet av minskade kväve och fosforutsläpp till Östersjön. Flera andra identifierade nyttor kunde dock inte ges ett monetärt värde, såsom bidrag

<sup>1</sup> <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt-hallbar-upphandling/lcc-for-langsigtigt-hallbara-inkop/olika-typer-av-investeringskalkyler/>

<sup>2</sup> <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt-hallbar-upphandling/lcc-for-langsigtigt-hallbara-inkop/lcc-verktyg/>

<sup>3</sup> <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/styrmedel/underlag-for-berakningar-av-miljorelaterade-kostnader-och-nyttor/>, besökt 2023-11-05



till kunskapsuppbyggnad och hållbarhetsprofilering, då ingen lämplig metod fanns att tillgå. Studien från Soutukorva Swanberg och Nordzell (2022) visade att det källsorterande systemet hade högst kostnader, men också högst värdering av nyttorna och en nytto-/kostnadskvot (dvs. värdet på nyttorna dividerat med alla kostnader) på 0,85, jämfört med 0,66 och 0,70 för de två andra systemen, även om osäkerheterna är höga när alla monetära uppskattningar av miljönyttor och kostnader summeras och vägs samman.

## 2.4 Materialflödesanalys (MFA)

MFA bedömer systematiskt flöden och lagring av material inom ett definierat system. Systemet som analyseras kan till exempel vara en process, ett reningsverk, en stad eller ett land. MFA kartlägger materialens resa genom systemet inklusive eventuella omvandlingar inom systemet, som till exempel utfällning av fosfor från avloppsvatten eller kväve som avgår som lustgas. En MFA brukar skilja på analys av "varor" ("goods" på engelska) och "substanser"<sup>4</sup>. Varor består av en sammansättning av olika ämnen medan substanser består av ett enskilt grundämne eller molekyl. "Betong" och "avloppsvatten" är exempel på varor, medan fosfor eller specifika föroreningar i avloppsvatten är substanser. För att utvärdera substansflöden krävs ofta data om både varu-flöde och substans-koncentration, till exempel flödet av avloppsvatten och koncentrationen av fosfor i avloppsvattnet.

En MFA kvantifierar och visualiserar flöden i systemet, och kan då synliggöra "hot-spots" och möjligheter till minskad miljöbelastning och/eller förbättrad resursåtervinning. Utmaningarna ligger dels i att bestämma systemgränserna och i vilka komponenter som ska ingå i systemet, dels i tillgång och kvalitén på den indata som behövs. Malmqvist et al (2006) har flera exempel på hur MFA används i analys av avloppsprocesser. Näringsflöden kan också analyseras med hjälp av MFA på andra nivåer, till exempel utvärderade Ernström (2021) Skånes möjlighet till självförsörjning av växtnäring, baserat på näringsflöden i regionen, inklusive humanavfall.

## 2.5 Kvantitativ mikrobiell riskanalys (QMRA)

QMRA är en metod som uppskattar sannolikheten för, och konsekvensen av, negativa hälsoeffekter från exponering av patogener. QMRA följer en process i fyra steg: faroidentifiering, exponeringsbedömning, dos-responsbedömning och riskkaraktärisering. Denna metod är tillämpbar när risker med patogener i avloppsvatten, slam och andra avloppsfraktioner måste hanteras. QMRA:s systematiska tillvägagångssätt gör det möjligt att kvantifiera hälsorisker och utvärdera effektiviteten av behandlingsprocesser för att minska dessa risker. Genom att tillhandahålla en vetenskaplig grund för att upprätta riktlinjer och standarder säkerställer QMRA att resursåtervinning från avlopp inte äventyrar folkhälsan.

I Sverige har QMRA främst använts för att analysera mikrobiologiska hälsorisker i dricksvattenproduktionen. Ett exempel är Görvälns vattenverk, där en QMRA-modell kombinerades med simuleringsverktyg i utvärderingen av olika processval (Lundwall et al. 2023). På avloppssidan har QMRA använts för att analysera risk för smittspridning från Arvidstorps reningsverk där det renade vattnet släpps ut i Göta älv (Åström och Rundahl 2018). QMRA-metoden användes också av Lindhe et al. (2015) i utvecklingen av ett verktyg för mikrobiell riskanalys av små avloppsanläggningar nära dricksvattenbrunnar .

<sup>4</sup> Se vidare i läroboken av Brunner och Rechsberger (2004).

<https://www.researchgate.net/publication/257258897> Practical Handbook of Material Flow Analysis



## 2.6 Multikriterieanalys

Multikriterieanalys (MKA) är en grupp av metoder som underlättar beslutsfattande när flera, ofta motstridiga, intressen är inblandade. I en MKA definieras först de systemalternativ som ska utvärderas och systemgränser för dessa, följt av definition av utvärderingskriterier. Alla alternativ utvärderas utifrån samma kriterier. Dessa kriterier kan viktas olika och därmed ha större eller mindre inverkan på det slutliga resultatet. En samlad bedömning fås då av kombinationen av utvärderingen och viktning för varje kriterium. En MKA kan integrera kvantitativa kriterier, som till exempel kostnader, med kvalitativa kriterier som grupperas i kategorier, såsom till exempel låg, medel eller hög robusthet.

För avloppssystem används MKA ofta för att jämföra och välja de mest lämpliga teknikerna, med hänsyn till olika faktorer såsom miljöpåverkan, kostnad, social acceptans och teknisk genomförbarhet. I en MKA kan flera olika metoder ingå för att utvärdera de olika dimensionerna av hållbarhet, till exempel LCA för miljöaspekter, LCC eller kostnads-nyttoanalys för ekonomiska aspekter och intervjuer/enkätundersökningar för sociala aspekter. Resultaten av en MKA påverkas av urvalet av kriterier, viktningen och bedömningen i respektive kontext. Ett avloppsalternativ kan därför värderas olika beroende vilka kriterier som anses prioriterade och till exempel hur acceptansen för ett alternativ bedöms vara under de förhållanden som råder lokalt.

MKA har i flera fall använts för att utvärdera näringsåtervinning och göra hållbarhetsbedömningar av avloppssystem. Ett exempel är Johannesdottir et al. (2019), där fallstudier utfördes på tre olika platser i Östersjöregionen för att undersöka olika resursåtervinningsalternativ i respektive kontext. Vidal et al. (2019) använde MKA för hållbarhetsutvärdering av nio olika alternativ för enskilda avlopp, baserat på tolv hållbarhetskriterier. Viktningen av kriterierna varierades i olika scenarier där recipientskydd, näringsåtervinning och energiåtervinning/klimatpåverkan prioriterades olika högt beroende på lokala förhållanden. Studien visade att alternativens hållbarhet/lämplighet beror på vilka aspekter som prioriteras, där olika alternativ fick bäst bedömning i de olika scenarierna.

En översikt av MKA-metoden och dess tillämpning inom näringsåtervinning beskrivs i Ahlgren et al. (2020) där författarna konstaterar att en MKA-metod som togs fram inom forskningsprogrammet Urban Water (Malmqvist et al., 2006) har varit dominerande i VA-sammanhang i Sverige. Metoden identifierar ett antal lämpliga kriterier att utvärdera för varje systemalternativ under fem hållbarhetsdimensioner: miljö, ekonomi, socio-kultur, teknisk funktion, samt hälsa och hygien. En MKA-manual för utvärdering av kretsloppstekniker både i avlopp och jordbruk togs fram inom projektet BONUS RETURN (Ahlström et al., 2019).

McConville et al. (2020) har utvecklat en strukturerad metod för att jämföra alternativ för näringsåtervinning, där MKA ingår. Metoden omfattar en fyrstegsprocess: (1) identifiering av ett flertal tillgängliga alternativ; (2) begränsning av antalet alternativ baserat på lokala förutsättningar; (3) multikriterieanalys av de återstående alternativen; och (4) intressenternas viktning och diskussion av resultaten. Denna metod har fokus på att inkludera många alternativ för näringsåtervinning i beslutsprocessen, där steg 1 öppnar upp för ett brett spektrum av nya och intressanta innovationer innan alternativen för en djupare analys begränsas baserat på lokalt specifika kriterier.



## 2.7 Miljökonsekvensbeskrivning

Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) är en process som systematiskt undersöker de förväntade negativa och positiva miljöeffekterna av en ny infrastruktur eller ett nytt system. MKB inkluderar screening, omfattning, konsekvensanalys, begränsning, rapportering och beslutsfattande. Metoden integrerar miljömässiga och socioekonomiska överväganden, för en utförlig förståelse av ett projekts miljö- och samhällspåverkan. MKB styrs av principerna för hållbar utveckling och miljöförvaltning, som syftar till att förhindra eller minska negativa effekter samtidigt som positiva resultat maximeras. Inom avloppshantering ingår MKB vid planering av ny infrastruktur, utbyggnader eller modifieringar, för att säkerställa miljökompatibilitet och samhällsacceptans.

## 2.8 Hälsokonsekvensbedömning

Hälsokonsekvensbedömning (HKB) är en metod som utvärderar de potentiella hälsoeffekterna av ett projekt, med hänsyn till både direkta och indirekta effekter på folkhälsa. HKB innebär screening, planering, analys, resultat och uppföljning. Denna metod fokuserar på de vidare faktorerna för hälsa, inklusive miljömässiga, sociala och ekonomiska faktorer. HKB kan vara värdefullt i VA-projekt där förändringar i infrastruktur eller praxis kan påverka folkhälsan avsevärt.

Ett exempel på en grundlig utvärdering av hälsorisker och hälsokonsekvenser genomfördes av Winkler et al. (2015) i ett projekt där möjliga affärsmodeller för kretslopp av avloppsprodukter i Kampala, Uganda, jämfördes. Först identifierades hälsorisker förknippade med framställningen av avloppsprodukterna för respektive affärsmodell och kontrollåtgärder för arbetsmiljöskydd och slutprodukternas kvalitet. Sedan bedömdes möjliga hälsokonsekvenser på samhällsnivå om affärsmodellerna skalas upp, under förutsättning att de kontrollåtgärder som föreslagits implementerades. Konsekvenserna inkluderade både hälsofördelar, t.ex. från förbättrad behandling av avloppsvatten, och negativa hälsoeffekter, till exempel exponering för giftiga gaser från slam-briketter som används till bränsle vid matlagning.

## 2.9 Scenarioanalys

Scenarioanalys är en metod som används för att undersöka och utvärdera möjliga framtida utvecklingsvägar genom att skapa och analysera olika scenarier. Syftet är att förstå hur olika faktorer och beslut kan påverka framtida utfall. Metoden hanterar osäkerheter och komplexa system genom att skapa en uppsättning alternativa framtider. Processen börjar med att definiera syfte och mål, identifiera nyckelfaktorer, utveckla scenarier, analysera dessa scenarier, jämföra och diskutera resultaten, och slutligen basera rekommendationer på de mest hållbara och effektiva alternativen. Medan scenarioanalys kan hantera osäkerhet genom att utforska olika framtida utvecklingsvägar, så kan metoden vara subjektiv och resurskrävande, med svårigheter att kvantifiera och jämföra olika scenarier exakt. Scenarioanalys ger inte exakta prognoser och kan ha osäker utfallsbedömning, vilket kan försvaga dess användbarhet i vissa beslutsfattande processer. Ett exempel på användning av scenarioanalys inom VA/kretslopp är REWaise Project<sup>5</sup>, där olika scenarier för återanvändning av vatten och återvinning av resurser från avloppsvatten undersöks för att bedöma deras hållbarhet.

<sup>5</sup> <https://rewaise.eu/>



## 3 Verktyg

### 3.1 LCA-verktyg

Ett flertal digitala LCA-verktyg finns tillgängliga. Några verktyg är specifikt utvecklade för analys av avfalls- och avloppsprocesser, medan andra verktyg är mer generella och kan appliceras i olika sammanhang.

**EASETECH** (Environmental Assessment System for Environmental TECHnologies) är ett LCA-verktyg speciellt utvecklat för att utvärdera miljöprestanda för avfallshanterings- och resursåtervinningssystem. Verktuget används för modellering av olika behandlingstekniker och strategier, och möjliggör en detaljerad analys av till exempel utsläpp av växthusgaser, energi- och resursförbrukning. EASETECH innehåller en databas med miljödata, som kan anpassas eller utökas för att återspegla lokala förhållanden. Det är utvecklat av Danmarks Tekniska Universitet, som tillhandahåller verktuget efter deltagande i en introduktionskurs<sup>6</sup>.

**ORWARE** (Organic WASTE REsearch) utvecklades i Matlab/Simulink av KTH, IVL, JTI och SLU på slutet av 90-talet, för miljösystemanalys av avfallshantering och resursåtervinning. ORWARE är särskilt inriktat på organiskt avfall, såsom matavfall, avloppsslam och jordbruksrester och baseras på LCA och materialflödesanalys. ORWARE har använts i flera svenska städer för att utvärdera olika avfallshanteringsalternativ, bland annat i Stockholm där Björklund et al. (1999) jämförde miljöpåverkan, resursförbrukning och möjlighet till resursåtervinning av olika strategier för hantering av matavfall och avloppsfractioner. Referensalternativet med förbränning/deponi av allt avfall och konventionell avloppsvattenrening jämfördes med 1) kompostering av matavfall, 2) rötning av matavfall och 3) urinuppsamling. En slutsats var att urinåtervinning gav den renaste fraktionen avseende tungmetaller och minskade övergödning och klimatutsläpp jämfört med referensalternativet, men ökade risken för försurning p.g.a. ammoniakutsläpp från urinlagring och kväveoxider från ökade transporter.

Inom forskningsprogrammet "Urban Water" utvecklades URWARE (Urban WATER Research) baserat på ORWARE. URWARE är speciellt framtaget för modellering av olika fysiska, biologiska och kemiska processer i avloppsreningsverk och består av delmodeller för olika processteg som kan kopplas ihop på valfritt sätt. Delmodellerna beräknar flödet av ett stort antal organiska ämnen, näringsämnen och tungmetaller, inklusive omvandlingar, emissioner och energiförbrukning. En utförlig beskrivning av URWAREs delmodeller återfinns i Jeppsson et al. (2005). I ett exempel på tillämpning av URWARE analyserades miljöeffekter och resursförbrukning för fyra alternativa system för behandling av avloppsvatten och matavfall från Hammarby Sjöstad (Hellström et al., 2008). Studien jämförde 1) konventionell avloppsvattenrening med avancerad slambehandling för fosforåtervinning, 2) svartvattensystem med urinseparering och matavfallskvarn kopplad till svartvattensystemet, 3) svartvattensystem utan urinseparering men med matavfallskvarn och omvänd osmos som slutsteg i behandlingen för ökad näringsavskiljning och 4) konventionell avloppsvattenrening med omvänd osmos som slutsteg. Studien visade på fördelar och nackdelar med alla alternativ, men föreslog att det mest effektiva systemet för resursåtervinning utan orimligt hög energiåtgång vore att kombinera urinseparering från alternativ 2), med konventionell rening för resterande avloppsvatten med avancerad slambehandling från alternativ 1).

<sup>6</sup> <http://www.easetech.dk/training-courses>



**Andra LCA-verktyg:** Förutom EASETECH och ORWARE finns det flera andra avfallsspecifika LCA-programvaruverktyg som har utvecklats under åren och en genomgång av en rad sådana verktyg finns beskrivna i Blikra-Vea et al. (2018). En del av dessa verktyg kan också vara tillämpbara för resursåtervinning från avloppssystem. Dessutom finns generiska LCA-verktyg som OpenLCA, GaBi och SimaPro, som också kan användas för att bedöma miljöpåverkan från avloppssystem, även om det kan medföra mer arbete med att bygga relevanta avlopps- eller avfallsrelaterade modeller och inmatning av relevanta data.

### 3.2 Verktyg för processmodellering

Processmodellering av avloppsreningsverk kan sägas ha tre generella användningsområden: dimensionering av nya reningsverk eller nya processteg, optimera driften, såsom att ta fram reglerstrategier, och i utbildning av ny personal. Genom att använda processmodeller är det möjligt att få en ökad insikt i hur reningsverkets olika delar fungerar utan att genomföra tids- och resurskrävande försök på det egna verket. I studier om resursåtervinning kan modellering av avloppsreningsprocesser behövas om det inte finns data att tillgå för ett system som ingår i utvärderingen. Wärff et al. (2020) har sammanställt en rapport om processmodellering av avloppsreningsverk för intressenter i Sverige, och även byggt upp en kunskapsportal online<sup>7</sup>. Kunskapsportalen beskriver genomförandet av ett modelleringsprojekt beroende på målsättning, vilka steg som utförs och i vilken ordning. Här beskrivs övergripande även hur modellerna är uppbyggda och vilka data som behövs för olika steg. Processmodellering kan göras enkelt med statistiska beräkningar likt de övriga verktygen men också mycket mer detaljerat med dynamiska simuleringar som kan visa på variation i till exempel rening/resursåtervinning över tid baserat på förändringar i avloppsvattnets koncentration eller temperatur.

Ahlgren et al. (2020) redovisar några vanliga simuleringsverktyg för avloppsvattenrening. BSM2G (implementerad i Matlab/Simulink) används främst inom forskning och är en kombination av flera delmodeller och täcker in ett avloppsreningsverk från försedimentering till slamlagring, och kan också modellera lustgasavgång från processer i reningsverket. Andra vanligt förekommande simuleringsverktyg är Simba#, BioWin, GPS-X, WEST och Sumo som alla tillhandahålls av kommersiella aktörer och är vanligare inom industrin.

### 3.3 Verktyg för utvärdering av klimatpåverkan

Branschorganisationen Svenskt Vatten har tagit fram ett klimatberäkningsverktyg för den svenska VA-branschen (Svenskt Vatten, 2023). Verktyget är Excelbaserat<sup>8</sup> och syftet är att ge VA-organisationer mer kunskap om anläggningarnas klimatpåverkan och hur denna påverkan fördelas mellan olika anläggningsdelar, för att därefter kunna påbörja arbetet för att minska anläggningens klimatavtryck. Verktyget baseras på mätningar och data från livscykelanalyser, och inkluderar både direkta utsläpp från anläggningen och även utsläpp som sker uppströms (till exempel i kemikalieproduktion) och nedströms (till exempel hantering av restprodukter).

### 3.4 Verktyg för riskutvärdering

WHO publicerade riktlinjer 2006 med rekommendationer för hur hälsorisker kan minimeras vid användning av avloppsvatten och avloppsfraktioner som urin, fekalier och grävatten i jordbruk och vattenbruk (WHO, 2006). Riktlinjerna baseras på QMRA och hälsobaserade mål, med  $1 \times 10^{-6}$

<sup>7</sup> <https://modelleraarv.se/>

<sup>8</sup> [https://www.svensktvatten.se/globalassets/medlemsservice/klimatneutral-va/klimatberakningsverktyg-v2\\_juni2023.xlsx](https://www.svensktvatten.se/globalassets/medlemsservice/klimatneutral-va/klimatberakningsverktyg-v2_juni2023.xlsx)



DALY<sup>9</sup> som accepterad gräns, dvs. att återanvändningen får leda till att max ett person-år på miljonen påverkas genom sjukdom eller för tidig död. Beroende på lokala förutsättningar föreslår WHO flera barriärer längs hela sanitetskedjan som tillsammans minskar riskerna i kretsloppet. WHO står också bakom ramverket Sanitation Safety Planning (SSP) som kan användas vid implementering för att på ett systematiskt sätt identifiera och hantera riskerna längs sanitetskedjan (WHO, 2022).

I Sverige har ett verktyg för mikrobiell riskanalys (MRA) av små avloppsanläggningar nära dricksvattenbrunnar tagits fram av Lindhe et al. (2015).

## 3.5 Verktyg för utvärdering av resursåtervinningspotentialen

### 3.5.1 Marknadspotentialen för avloppsprodukter

Det är viktigt att det finns acceptans och efterfrågan på avloppsprodukterna. Schoebitz et al. (2016) har tagit fram en marknadsundersökningsmetod för att utvärdera efterfrågan av olika produkter före val av behandlingsteknik. Resultaten blir sedan vägledande för vilken typ av behandling och avloppsprodukt man ska satsa på. Fallstudien för metoden baseras på avloppsslam i Kampala, Uganda, och inbegriper en utvärdering av efterfrågan tillika värdet på de olika produkterna som kan framställas via olika behandlingstekniker. Tillvägagångssättet bör även gå att tillämpa i Sverige och för andra typer av avloppsprodukter än avloppsslam.

### 3.5.2 Schablonvärden som indata för analys av avloppssystem

Tillförlitliga indata är avgörande för robusta resultat från systemanalyser av avloppssystem. I brist på detaljerad platsspecifika data kan schablonvärden behöva användas.

**Belastning till avloppssystem:** För att analysera och jämföra nya typer av avloppssystem behövs kunskap om sammansättningen av de olika avloppsfraktionerna. Jönsson et al. (2005)<sup>10</sup> publicerade schablonvärden för mängd och sammansättning av urin, fekalier/toalettpapper, grävatten och komposterbart hushållsavfall som genereras per person och dag baserat på data och uppskattningar för svenska förhållanden, totalt 31 parametrar för varje fraktion. Dessa kan användas som ingångsvärden i analyser av olika avloppssystem, och sammanställdes ursprungligen för användning i URWARE-modellen. För enskilda avlopp finns också schablonvärden för belastning (mängder och koncentrationer), i HaVs allmänna råd om små avloppsanläggningar (Havs- och Vattenmyndigheten, 2016).

**Schablonvärden för N-, P- och BOD<sub>7</sub>-avskiljning i enskilda avloppssystem:** För att uppskatta utsläppen och möjlighet till kretslopp av främst N och P från enskilda avlopp krävs förutom schabloner för belastning också schabloner för avskiljning. En sådan uppskattning sammanställdes av Olshammar et al. (2015) med de vanligaste teknikerna för enskilda avlopp i Sverige, det vill säga slamavskiljning, infiltration, markbädd och minireningsverk. I källsorterande avlopp avskiljs näringen med urin och/eller svartvatten, som samlas upp. För en korrekt mängduppskattning behövs då data på "hemvaro" (dvs. hur stor del av dygnet tillbringas hemma) och på hur effektiv urinsorteringen är, vilket återfinns i Jönsson et al. (2000).

**Näringsflöden i livsmedelssystemet på nationell nivå:** Hur näring i avloppssystemen förhåller sig till andra näringsflöden i det svenska livsmedelssystemet beskrivs i rapporten *Ökad cirkularitet*

<sup>9</sup> Disability-adjusted life years = funktionsjusterade levnadsår. Måttet används för att beräkna sjukdomsburden på populationsnivå, där hänsyn tas till sjukdom, funktionsnedsättning och för tidig död.

<sup>10</sup> [https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/URWARE-Indata\\_2005-6\\_Jonsson.pdf](https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/URWARE-Indata_2005-6_Jonsson.pdf)





och minskad övergödning – potentialen i svenskt lantbruk och livsmedelskedja av Johansson et al. (2021). Rapporten visar hur stor andel av dagens konstgödselanvändning som näringen i avlopp potentiellt skulle kunna täcka vid olika scenarier för kretsloppsanpassning av avloppssystemen. Av inkommande näring till reningsverken återfördes 2018 ungefär 9% av kvävet och ca 40% av fosfor till åkrar. I ett optimerat scenario av dagens avloppssystem, med förbränning och utvinning av fosfor ur slam och utvinning av kväve ur rejektivattent, skulle 90 % av fosfor och ca 20 % av kvävet kunna återföras, jämfört med närmare 100 % återföring av näringsämnen vid källsortering av svartvatten (toalettavloppet). Mängden växtnäring i svartvattent motsvarar ca 25 % av mineralkvävet och ca 36 % av mineralfosfor som används i jordbruket. Rapporten visar också att en optimal fördelning av både stallgödsel och källsorterat svartvatten skulle kunna täcka 83% av kvävebehovet och 55% av fosforbehovet i jordbruket, dock till mycket höga transportkostnader då människor, boskap och odlingsmark inte längre är "sam-lokaliserade" i landskapet. Denna typ av data och systemförståelse på nationell nivå belyser möjligheterna och utmaningarna med ökad näringsåtervinning från både avloppssystem som stallgödsel.

### 3.6 Certifieringar och riktlinjer för riskhantering i kretslopp

För kvalitetssäkring av avloppsprodukter i jordbruket finns det i dagsläget två svenska certifieringssystem - REVAQ (SPCR 167)<sup>11</sup> för slam och SPCR 178<sup>12</sup> för källsorterade fraktioner.

- REVAQ är ett frivilligt certifieringssystem för slam som ägs av branschorganisationen Svenskt Vatten. Syftet med Revaq är att minska flödet av oönskade ämnen till reningsverken för att kunna skapa ett hållbart kretslopp av växtnäring och organiskt material genom slam användning på åkermark.
- SPCR 178 är en frivillig certifiering för kvalitetssäkring av källsorterade avloppsfraktioner, det vill säga urin, klosett vatten eller latrin från hushåll, utan inblandning av bad-, disk- och tvättvatten (BDT). Certifieringssystemet ägs av forskningsinstitutet RISE. Syftet med kvalitetssäkringen är att möjliggöra en säker återföring av växtnäring till jordbruk. För att bli certifierad ska produkten ha en maximal kvot på 17 mg Cd/kg P, uppfylla krav avseende förekomst av patogener (Salmonella och E.coli) samt följer angivna riktlinjer för olika metaller.

Handboken till Naturvårdsverkets allmänna råd för små avloppsanläggningar från 2008 inkluderar rekommendationer för eget omhändertagande av avloppsfraktioner såsom urin och fekalier från latrin m.m. (Naturvårdsverket, 2008). Rekommendationerna bygger på flera riskbarriärer, där hygienisering följs av olika åtgärder som minskar risken för smittspridning och näringsförluster vid användning av avloppsfraktionerna i odling.

### 3.7 Planeringsverktyg för implementering

#### 3.7.1 Handbok för källsorterande avloppssystem i urbana områden

Inom ramen för MACRO-projektet har Kvarnström et al. (2022) tagit fram en handbok för källsorterande avloppssystem i stadsmiljö, med fokus på olika planerings- och projektskeden. Handboken vänder sig till kommunala aktörer och beskriver inledningsvis tidigare erfarenheter av källsorterande system inom kommunalt verksamhetsområde och tar upp både drivkrafter och möjliga risker och konsekvenser. Den tekniska översikten beskriver kortfattat integrationen av källsorterade system i byggnader och anslutningen via förbindelsepunkten till VA-

<sup>11</sup> <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstromsarbete/revaq-certifiering/>

<sup>12</sup> <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/certifiering-av-kallsorterade-avloppsfraktioner>



huvudmannens system där svartvatten (med eller utan urin-avskiljning) och gråvatten leds till olika behandlingsanläggningar. Huvudfokus i handboken är den kommunala planeringsprocessen och var i processen beslut och underlag rörande källsorterande system behöver integreras, vem som företrädevis leder processen, samt vilka övriga relevanta aktörer som kan eller bör vara inblandade. Målet med handboken är att underlätta införandet av källsorterande avloppssystem i nybyggnadsområden, främst baserat på erfarenheterna från Helsingborg, Stockholm och Visby.

### 3.7.2 Öppen VA-planering

Öppen VA-planering är en planeringsmetod som framför allt utvecklats för att användas i ett mindre område eller i en avgränsad del av en kommun (Kvarnström och af Petersen, 2004). Delar av metodiken kan dock användas som verktyg för processer och utvecklingsarbete i kommunens övergripande VA-planering. Öppen VA-planering lägger fokus på vilka funktioner VA-systemet ska uppfylla och på att alla berörda parter ska komma överens om vilka dessa funktioner är, innan tekniska lösningar definieras. För att hitta den bästa lösningen måste flera alternativ studeras och jämföras efter väl valda kriterier. I kravspecifikationen balanseras VA-systemets primära funktioner: smittskydd, recipientskydd och återvinning av växtnäring mot praktiska och ekonomiska aspekter.

### 3.7.3 RECLAIM

RECLAIM<sup>13</sup> är ett brädspel, ett så kallat "serious game", om hanteringen av resurser och risker i avloppssystem, där deltagarna ges olika roller med det gemensamma målet att försörja stadens invånare med livsmedel och undvika föroreningar och smittspridning. Spelet är utvecklat av forskare från SLU och Chalmers i samarbete med beslutsfattare och universitetsstudenter i Sverige och Uganda, och tar ca två timmar att spela. RECLAIM kan användas i planeringsprocesser där intressenter och beslutsfattare kan mötas på ett inspirerande sätt, samtidigt som spelet förmedlar kunskap om resursåtervinning, stödjer attitydförändring och stimulerar samarbete.

<sup>13</sup> <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/projekt/kretslopp/reclaim/>



## 4 Sammanfattning och utblick

I denna delsyntes har Projektgruppen presenterat en översikt av olika metoder och verktyg för hållbarhetsbedömning av resursåtervinning från avloppssystem. Livscykelanalys (LCA), livscykelkostnadsanalys (LCC), och kostnads-nyttoanalys är några av de centrala metoder som används för att förstå och kvantifiera miljöpåverkan och ekonomiska kostnader. Den här typen av metoder används också ofta inom ramen för multikriterieanalys (MKA), då olika system utvärderas och jämförs med varandra i forskningssyfte eller som underlag inför ett investeringsbeslut.

Ett flertal verktyg finns tillgängliga för att underlätta genomförandet av hållbarhetsbedömningar och även som stöd för planering och implementering av resursåtervinning. Det inkluderar verktyg för LCA, processimulering av avloppsreningsverk, utvärdering av klimatpåverkan, riskutvärdering och riskhantering inklusive certifieringar av avloppsfractioner, och även planeringsramverk som kan användas som stöd vid implementering. En utveckling av dessa verktyg kan dock behövas för att enklare kunna ta hänsyn till både negativ och positiv miljöpåverkan även utanför de satta systemgränserna, samt andra aspekter som tidigare inte beaktats, såsom bidrag till nationell självförsörjning och resiliens i kristider.

För ett ökat kretslopp av avloppsresurser behöver nya tekniker och system utvärderas, jämföras och implementeras. För att optimera valet av system, tekniker och lösningar utifrån kostnader och nyttor krävs att hela systemen beaktas och utvärderas. Det kan vara kostsamt och krävande att använda verktyg för systemutvärdering, men viktigt för att visa på annars dolda nyttor och kostnader med teknikerna, vilket gör att man på systemnivå kan undvika suboptimering. Dyra planeringsprocesser är ändå billigare än att bygga felaktiga system i stor skala, speciellt då VA-lösningar innebär stora och långsiktiga samhällsinvesteringar. Att använda verktyg som multikriterieanalys och LCA skapar en större förståelse för systemet vilket bidrar till en värdefull läroprocess för alla inblandade. Det är viktigt att ha i åtanke att det handlar om sociotekniska system, där även subjektiva bedömningar kan spela en stor roll i valet av teknik eller system, då vissa aspekter är svåra att objektivt kvantifiera, som till exempel social acceptans och andra icke-monetära värden. Verktyg som tillåter att sådana bedömningar används är värdefulla, men kräver en tydlig redovisning av antaganden och osäkerheter.

Slutligen är det värt att poängtera att utvecklingen går snabbt och det kan vara svårt för enskilda aktörer att få en överblick på utbudet av användbara och aktuella verktyg för systemval, planering och implementering av cirkulära avloppslösningar. Det finns ett behov av att tillgängliggöra och öka kunskapen kring den typen av metoder och verktyg som presenterats i detta kapitel, till exempel via en internetportal. En sådan portal skulle kunna tas fram och sedan uppdateras regelbundet av en expertgrupp med bred erfarenhet av avlopp och kretslopp.



## 5 Referenser

- Ahlgren, S., Junestedt, C., Ahlström, M., Lundin, E. 2020. [Återvinning av växtnäringssämnen ur avloppsvatten – hur gör vi hållbarhetsbedömningar på bästa sätt?](#) RISE Rapport 2020:16, Uppsala.
- Ahlström, M. Johannesdottir, S., Kärrman, E. 2019. Manual for assessing sustainability of eco-technologies. Deliverable No: D.3.4 BONUS RETURN. [https://www.bonusreturn.eu/wp-content/uploads/2020/02/BONUSRETURN\\_D.3.4\\_Manual-for-assessing-sustainability.pdf](https://www.bonusreturn.eu/wp-content/uploads/2020/02/BONUSRETURN_D.3.4_Manual-for-assessing-sustainability.pdf)
- Björklund, A., Bjuggren, C., Dalemo, M., Sonesson, U. 1999. Planning Biodegradable Waste Management in Stockholm. *Journal of Industrial Ecology* 3 (4): 43–58. <https://doi.org/10.1162/108819899569683>.
- Blikra Veia, E., Martinez-Sanchez, V., Thomsen, M. 2018. A Review of Waste Management Decision Support Tools and Their Ability to Assess Circular Biowaste Management Systems. *Sustainability*, 10(10), 3720. <https://doi.org/10.3390/su10103720>
- Brunner, P. H., Rechberger, H. 2004. Practical handbook of material flow analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(5), 337–338. <https://doi.org/10.1007/BF02979426>
- Ernström, E. 2021. Kan Skåne uppnå en cirkulär förvaltning av näringsämnen? Examensarbete i miljövetenskap, Lunds universitet, MVEM12. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=9065952&fileOid=9066128>
- Havs och Vattenmyndigheten 2016. Havs- Och Vattenmyndighetens Allmänna Råd Om Små Avloppsanordningar För Hushållsspillvatten. Havs- och vattenmyndigheten. <https://www.havochvatten.se/download/18.1d58828a15f50337fd4466c4/1668171856251/HVMFS-2016-17-ev.pdf>.
- Hellström, D., Baky, A., Jeppsson, U., Jönsson, H., Kärrman, E. 2008. Comparison of Environmental Effects and Resource Consumption for Different Wastewater and Organic Waste Management Systems in a New City Area in Sweden. *Water Environment Research* 80 (8): 708–18. <https://doi.org/10.2175/106143008X276705>.
- Högstrand, S., Uz Kurt Kaljunen, J., Al-Juboori, R. A., Jönsson, K., Kjerstadius, H., Mikola, A., Peters, G., Svanström, M. 2023. Incorporation of main line impact into life cycle assessment of nutrient recovery from reject water using novel membrane contactor technology. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137227>
- Johannesdottir, S., Kärrman, E., Ljung, E., Anderzén, C., Ahlgren, S., Englund, M. 2019. Report from the Multi-Criteria Analysis with Comparisons of the Different Alternatives in Each Case Study and Selection of Eco-Technologies. WP3 Task 3.3. Bonus Return. [https://www.bonusreturn.eu/wp-content/uploads/2019/05/BONUSRETURN\\_D3.3\\_REPORT\\_FROM\\_THE\\_MULTICRITERIA\\_ANALYSIS.pdf](https://www.bonusreturn.eu/wp-content/uploads/2019/05/BONUSRETURN_D3.3_REPORT_FROM_THE_MULTICRITERIA_ANALYSIS.pdf).
- Johansson, M., Magnusson, S., Jönsson, H. 2021. Ökad Cirkularitet Och Minskad Övergödning: Potentialen i Svenskt Lantbruk Och Livsmedelskedja. WWF.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. Composition of Urine, Faeces, Greywater and Biowaste for Utilisation in the URWARE Model. 2005:6. The Mistra Program Urban Water. [https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/URWARE-Indata\\_2005-6\\_Jonsson.pdf](https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/URWARE-Indata_2005-6_Jonsson.pdf).
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.-A., Dalhammar, G., Kirchmann, H. 2000. Källsorterad humanurin i kretslopp (VA-Forsk rapport 2000:1). [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_2000-01\\_Del1.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2000-01_Del1.pdf)



- Kvarnström, E., Lennartsson, M., Widén, A. 2022. Planeringshandbok För Källsorterande Avloppssystem i Urbana Områden. MACRO 3. <https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2022/10/Planeringshandbok-for-kallsorterande-avloppssystem-i-urbana-omraden-2022-06-15.pdf>.
- Kvarnström, E., af Petersens, E. 2004. Open Planning of Sanitation Systems. 2004–3. Stockholm: Stockholm Environment Institute. [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR\\_Publications\\_2004/ESR3web.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR3web.pdf).
- Lindhe, A., Åström, J., Rosén, L., Lång, L.O. 2015. Verktyg För Mikrobiell Riskanalys (MRA) Av Små Avloppsanläggningar Nära Dricksvattenbrunnar. 2015:9. Chalmers Tekniska Högskola. [https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244715/local\\_244715.pdf](https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244715/local_244715.pdf).
- Lundwall, T., Fridén, H., Rahmberg, M., Åström, J. 2023. Modellering av Patogenflöden i Görvålverkets Utbyggnad. 2023–07. Norrvatten. <https://www.norrvatten.se/contentassets/39ef7ae9cc4e1ba0c526e609b3c910/2023-07-modellering-av-patogenfloden-i-gorvalnverkets-utbyggnad.pdf>.
- Malmqvist, P.-A., G. Heinicke, E. Karrman, T. Stenstrom, Svensson, G. 2006. Strategic Planning of Sustainable Urban Water Management. Vol. 5. IWA Publishing. <https://iwaponline.com/ebooks/book/106/>.
- McConville, J.R., Kvarnström, E., Nordin, A.C., Jönsson, H., Niwagaba, C.B. 2020. Structured Approach for Comparison of Treatment Options for Nutrient-Recovery From Fecal Sludge. *Frontiers in Environmental Science* 8 (April): 36. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00036>.
- Naturvårdsverket 2008. Små Avloppsanläggningar Handbok till Allmänna Råd. 2008:3. Naturvårdsverket. <https://www.havochvatten.se/download/18.5f66a4e81416b5e51f7c41/1381136453410/handbok-sma-avloppsanlaggningar.pdf>.
- Olshammar, M., Ek, M., Rosenqvist, L., Ejhed, H., Sidvall, A., Svanström, S. 2015. Uppdatering Av Kunskapsläget Och Statistik För Små Avloppsanläggningar. 166. SMED. Havs- och Vattenmyndigheten. <https://admin.smed.se/app/uploads/2015/11/SMED-Rapport-2015-166.pdf>.
- Schoebitz, L., Andriessen, N., Bollier, S., Bassan, M., Strande, L. 2016. Market Driven Approach for Selection of Faecal Sludge Treatment Products. EAWAG/Sandec. [https://www.fsmttoolbox.com/assets/pdf/114.17.29\\_market\\_driven\\_approach.pdf](https://www.fsmttoolbox.com/assets/pdf/114.17.29_market_driven_approach.pdf).
- Soutukorva Swanberg, Å., Nordzell, H. 2022. Samhällsekonomisk analys av sorterande avloppssystem. Ramböll. [https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2022/10/Slutversion\\_CBA\\_VA\\_NDS\\_220513.pdf](https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2022/10/Slutversion_CBA_VA_NDS_220513.pdf).
- Spångberg, J., Tidåker, P., Jönsson, H. 2014 Environmental Impact of Recycling Nutrients in Human Excreta to Agriculture Compared with Enhanced Wastewater Treatment. *Science of The Total Environment* 493: 209–219.
- Svenskt Vatten 2023. Klimatberäkningsverktyg För VA-Anläggningar. Användarmanual, 2023. [https://www.svensktvatten.se/globalassets/medlemservice/klimatneutral-va/sv\\_klimatberakningsmodell\\_va-anlaggning\\_manual2023.pdf](https://www.svensktvatten.se/globalassets/medlemservice/klimatneutral-va/sv_klimatberakningsmodell_va-anlaggning_manual2023.pdf).
- Vidal, B., Herrman, I., Hedström, A. 2019. Små Avloppssystem - Hur Hållbara Är De? 2019–8. Ny Forskning Och Teknik. Luleå Tekniska Högskola. [https://www.ltu.se/cms\\_fs/1.165648!/file/Sm%20avloppssystem%20-%20Hur%20h%C3%A5llbara%20%C3%A4r%20de\\_Brenda%20Vidal.pdf](https://www.ltu.se/cms_fs/1.165648!/file/Sm%20avloppssystem%20-%20Hur%20h%C3%A5llbara%20%C3%A4r%20de_Brenda%20Vidal.pdf).
- Wärff, C., Ahlström, M., Arnell, M. 2020. Processmodellering av avloppsreningsverk: Kunskapsspridning om ett kraftfullt verktyg för drift och design. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2020-3.



WHO 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9241546859>.

WHO 2022. Sanitation Safety Planning: Step-by-Step Risk Management for Safely Managed Sanitation Systems. World Health Organization.

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/364586/9789240062887-eng.pdf?sequence=1>.

Winkler, M., Schoebitz, L., Cissé, G. 2015. Health and Environmental Risk and Impact Assessments of Waste Reuse Business Models Proposed for Kampala. Environmental Health 256 (772): 663033.

Åström, J., Rundahl, P. 2018. Smittspridning Från Avloppsreningsverk - QMRA Som Beslutsstöd Vid Ombyggnation Av Arvidstorps Reningsverk. VATTEN 74 (4).

[https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2019/03/VATTEN\\_4\\_191-208.pdf](https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2019/03/VATTEN_4_191-208.pdf)



## Delsyntes 5: Möjliga framtidsscenarioer för återvinning och återanvändning av resurser från avlopp

I denna delsyntes presenteras möjliga framtidsscenarioer för återvinning och återanvändning av resurser från avlopp. Scenarierna bygger framför allt på tidigare delsynteser kring tillgång och behov av olika resurser i avlopp (Delsyntes 1), samt tekniker och system (Delsyntes 2). Den primära målgruppen är svenska myndigheter och kommuner.

I delsyntesen beskrivs respektive scenario på en övergripande nivå och systemet i scenariot illustreras med en förenklad översiktsbild. Fokus ligger på hushållspillvatten som hanteras kommunalt. Hantering av industrispillvatten och speciellt utvinning av resurser från detta är väldigt specifikt kopplat till typ av industrin och en generell betraktelse är således utanför projektets omfattning. Även hantering av hushållspillvatten i enskilda avlopp ligger utanför projektets avgränsning. För de olika system som beskrivs anger Projektgruppen dock hur en integrering av enskilda avlopp kan ske på lämpligt sätt.

För systemen beskrivs vilka resurser som återanvänds eller återvinns i scenariot, vilka fördelar respektive nackdelar scenariot medför och slutligen projektgruppens bedömning. Det bör noteras att scenarierna beskriver en övergripande strategi som påverkas av olika yttre och inre faktorer som exempelvis befolkningstillväxt, energipriser, urbanisering, nybyggnation m.m. som dock inte diskuteras specifikt för de olika scenarierna. Det är därför av största vikt att notera att inte heller basscenariot nödvändigtvis ger en rimlig bild av en framtida VA-hantering, då såväl regelverk som andra faktorer kan komma att ändras med konsekvensen att VA-hanteringen kan komma att se annorlunda ut i framtiden.

Scenarierna som beskrivs i denna delsyntes representerar olika tänkbara system för hantering av spillvatten och dess resurser. Förutom basscenariot som beskriver dagens hantering, beskrivs två scenarier som ofta lyfts fram i olika forum som rätt väg att gå i utvecklingen av VA-systemen. Det ena scenariot bygger på källsorterande system i lokal eller centraliserad form och det andra scenariot bygger på att befintliga avloppsreningsverk byggs om till centraliserade resursanläggningar. Projektgruppen beskriver dessutom ytterligare ett scenario som kombinerar källsorterande system och centraliserade resursanläggningar i ett så kallat samhällsanpassat kombinationssystem. Samhällsanpassat kombinationssystem utvecklas på sikt mot mer källsorterande system och separat hantering av avloppsfraktionerna som komplement till de centraliserade resursanläggningarna. Projektgruppen bedömer att en flexibel kombination och utveckling av detta hybridssystem skapar goda förutsättningar för en ökad resursåtervinning från avlopp, givet befintlig infrastruktur och andra förutsättningar.

### Innehåll

1	Basscenario – Dagens hantering.....	2
2	Scenario I – Källsorterande system i hela samhället .....	5
3	Scenario II – Centraliserade resursanläggningar .....	9
4	Scenario III – Samhällsanpassat kombinationssystem .....	12
5	Referenser .....	16



# 1 Basscenario – Dagens hantering

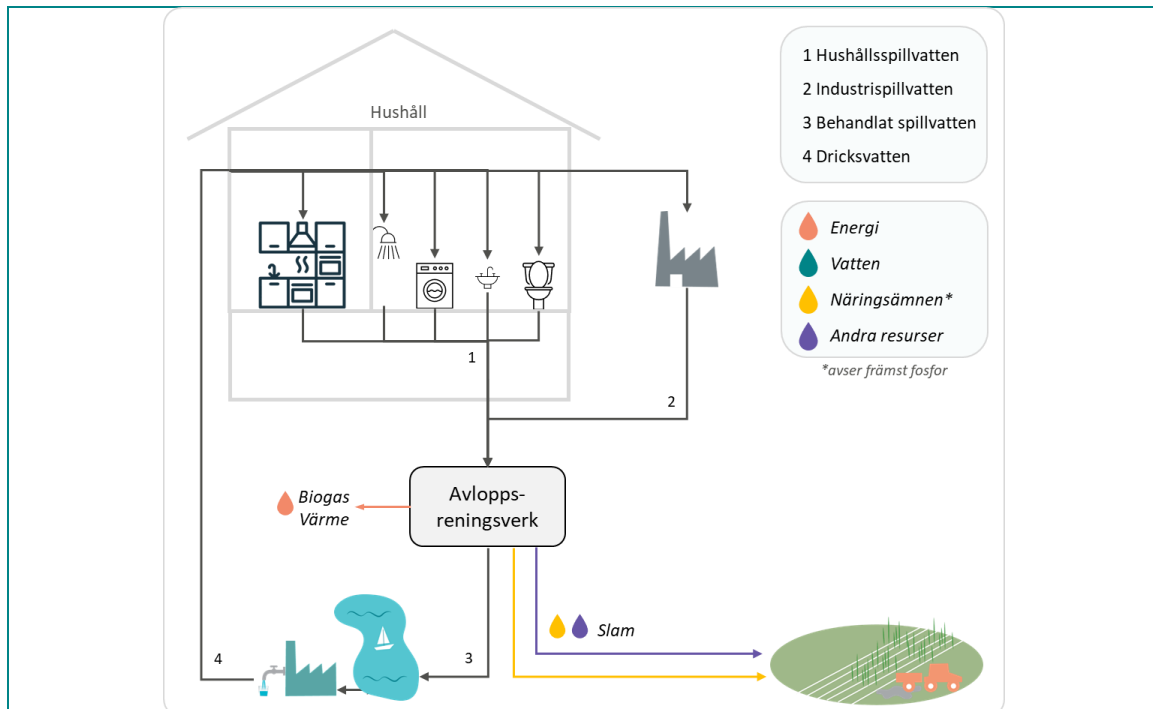
## Beskrivning

Dagens hantering av spillvatten bygger mestadels på centraliserade system vilket illustreras i Figur 1. I hushåll blandas gråvatten och svartvatten och leds som hushållsspillvatten till spillvattennätet där det vanligtvis även blandas med industrispillvatten. Industrispillvatten kan beroende på verksamhet och krav ha undergått en föregående rening eller resursutvinning innan det släpps till spillvattennätet. På vissa platser finns kombinerade system där även dagvatten avsiktligt tillförs spillvattennätet. De olika flödena av spillvatten och i förekommande fall även dagvatten blandas sedan ytterligare med det tillskottsvatten som läcker in i ledningsnätet och som utgörs av regnvatten, sjövattnet och grundvattnet. Spillvattnet leds till avloppsreningsverket där olika fysiska, biologiska och kemiska processer används för att minska halterna av fosfor, kväve och lättnedbrytbart organiskt material i utgående vatten. Från vissa avloppsreningsverk utvinns energi i form av biogas (ibland i samrötning med matavfall) och från vissa utvinns restvärme från utgående avloppsvatten. Från vissa anläggningar återförs även näringsämnen och andra resurser i form av mull via spridning av avvattnat slam (rötat eller orötat) på jordbruksmark. Idag sprids ca 46 % av slammet på jordbruksmark och annan avsättning för resterande del av slammet är framför allt sluttäckning av deponi och tillverkning av anläggningsjord (SCB 2022).

Det reade spillvattnet leds till en recipient. Från en dricksvattentäkt (som ibland är en recipient för uppströmsliggande avloppsreningsverk) hämtas råvatten för dricksvattenberedning på vattenverket. Dricksvattnet används sedan till hushåll och verksamheter.

Av hushåll som inte har tillgång till centraliserad avloppshantering är ca 65 % permanentboende med enskilda avlopp. Dessa utgörs av ca 470 000 fastigheter med hushållsspillvatten och ca 30 000 med endast gråvatten (SMED 2024). Till detta kommer ca 400 000 fritidsboende med delvis spillvatten eller endast gråvattenproduktion. En stor del av behandlingen av hushållsspillvattnet från dessa fastigheter sker lokalt och mestadels utan resursåtervinning. En stor del av det slam som avskiljs vid enskilda avloppsanläggningar hämtas för behandling vid kommunala avloppsreningsverk där det blandas med inkommande spillvattnet till anläggningen eller med anläggningens slam.





Figur 1. Schematisk överblick över Basscenario - Dagens hantering. Färgade pilar illustrerar de vägar för återanvändning alternativt återvinning av resurser som huvudsakligen är aktuella i scenariot.

### Resurser som återanvänds eller återvinns

- **Vatten:** En försumbar mängd av vatten återvinns idag, då exempelvis som spol- eller kylvatten för intern användning vid avloppsreningsverk.
- **Energi:** En viss del av energin i spillvattnet tillvaratas idag via produktion av biogas vid slamrötning (i vissa fall samrötning med matavfall). Biogasproduktionen från spillvatten är idag 0,7 TWh biogas/år vilket motsvarar 58 % av biogaspotentialen i slamm vid de anläggningar som producerar biogas. 0,7 TWh/år motsvarar 0,4 % av Sveriges totala energianvändning. På vissa avloppsreningsverk tillvaratas värmen i utgående vatten via värmeväxlare eller värmepumpar. Omfattningen av värmeåtervinningen idag är svårt att uppskatta a men utgör totalt sett endast en bråkdel av den tillgängliga värmen i spillvattnet
- **Näringsämnen:** Via slamspridning på jordbruksmark återförs näringsämnen till viss del i dagens system. 40 % av inkommande fosfor och 9 % av inkommande kväve återfördes 2018 till jordbruksmark via slamspridning (Johansson et al., 2021). Om man jämför detta med det totala gödselbehovet motsvarar det ca 1,7 % av behovet av kväve och 6,3 % av behovet av fosfor (Johansson et al., 2021).
- **Andra resurser:** Mullämnen och kol samt mikronäringsämnen återförs till jordbruksmark vid slamspridning. Sand från sandfång återvinns vid vissa verk.

### Fördelar

- Väl etablerad teknik för hantering av spillvatten som för det mesta är accepterad i samhället utifrån reningsperspektivet och som är anpassad till dagens lagstiftning och regelverk.
- Bygger på existerande infrastruktur och tekniker.
- Fokus på centraliserad rening i stor skala möjliggör en relativt hög resurseffektivitet för de processer som tillämpas vid avloppsreningsverk.
- Även en del föroreningar som tillförs avloppsreningsverk via dagvatten och tillskottsvatten (t.ex. mikroplaster) renas bort innan vatten släpps till miljön. Dock



bidrar dagvatten och tillskottsvatten till en generell mindre effektiv rening vid avloppsreningsverk)

#### Nackdelar

- Endast en begränsad återanvändning eller återvinning av resurser.
- Acceptansen för slamspridning varierar stort.
- När både hushålls- och industrispillvatten blandas och späds ut med tillskottsvatten och dagvatten försvårar det för både en rening av spillvatten och en säker och resurseffektiv återanvändning och återvinning av resurser.
- Kombinerade system och inläckage av tillskottsvatten bidrar med en extra belastning av föroreningar som t.ex. mikroplaster och PFAS. Dessutom orsakar inläckage av tillskottsvatten och dagvatten bräddningar av utspätt men ändå orenat spillvatten och förbiledningar av delvis renat vatten vid överbelastning i samband med regn. Dessa tillfällen kommer dessutom öka i samband med klimatförändringen.
- Stor resursåtgång i form av energi och kemikalier för rening av spillvattnet vid avloppsreningsverk då stora spillvattenmängder behöver hanteras och renas.
- Konventionell kväverening ger upphov till utsläpp av växthusgaser och kräver stora bassängvolymmer.
- Dagens avloppsreningsverk är inte designade för att rena bort organiska mikroföroreningar (exempelvis läkemedelsrester och PFAS) som därmed till stor del finns kvar i det behandlade spillvattnet som släpps ut till miljön.
- Slamspridning medför en risk för förorenings spridning.
- Existerande avloppsreningsverk kommer sannolikt inte att uppnå framtida krav från nya regelverk för exempelvis minskade utsläpp till vattenmiljön och eventuella krav på återvinning av växtnäring.
- Existerande infrastruktur kräver en kontinuerlig utbyggnad av både avloppsreningsverk och avloppsnät för att möta befolkningstillväxten och mer tillskottsvatten i samband med klimatförändringar.

#### Projektgruppens bedömning

Dagens system har fördelen att det är väletablerat och baserat på en befintlig infrastruktur. Dock är Projektgruppens bedömning att även dagens infrastruktur kommer behöva enorma reinvesteringar inom en överskådlig tid och att det då finns bättre sätt att rikta de investeringarna än att fortsätta bygga på befintligt system. Dagens system bygger på samhällsbehov från en annan tid, där fokus var att bli kvitt spillvattnet och dess huvudsakliga föroreningar (fosfor, kväve och lättnedbrytbart organiskt material). Dagens system kommer inte att kunna uppfylla framtidens regelverk och samhällskrav på en resurseffektiv avloppshantering med minsta möjliga negativa miljöpåverkan och cirkularitet. Utöver ändrade regelverk kommer befolkningsökningar och klimatförändringar troligen leda till att det blir alltför ineffektivt ur resurssynpunkt att fortsätta bygga ut dagens system. Många platser dras redan med kapacitetsbrist i centrala delar och svårigheter att nå högt uppställda reningskrav.

Även för industrispillvatten kommer reningskraven troligtvis öka i takt med att högre krav ställs på avloppsreningsverk som tar emot industrispillvatten. Även avloppshantering vid enskilda hushåll och decentraliserade avloppsreningsverk (< 200 personer) bedöms inte kunna möta krav på resurseffektiv avloppshantering med låg negativ miljöpåverkan.



## 2 Scenario I – Källsorterande system i hela samhället

### Beskrivning

Scenario I presenteras i Figur 2 och bygger på att de olika avloppsfraktionerna separeras vid källan och hanteras separat. Detta görs för att öka möjligheten till mer effektiv resursutvinning från respektive fraktion istället för att olika avloppsfraktioner blandas och späds ut som i dagens system. I hushåll samlas gråvattnet separat från svartvattnet som i sin tur också kan separeras som en urin- och en fekaliefraktion.

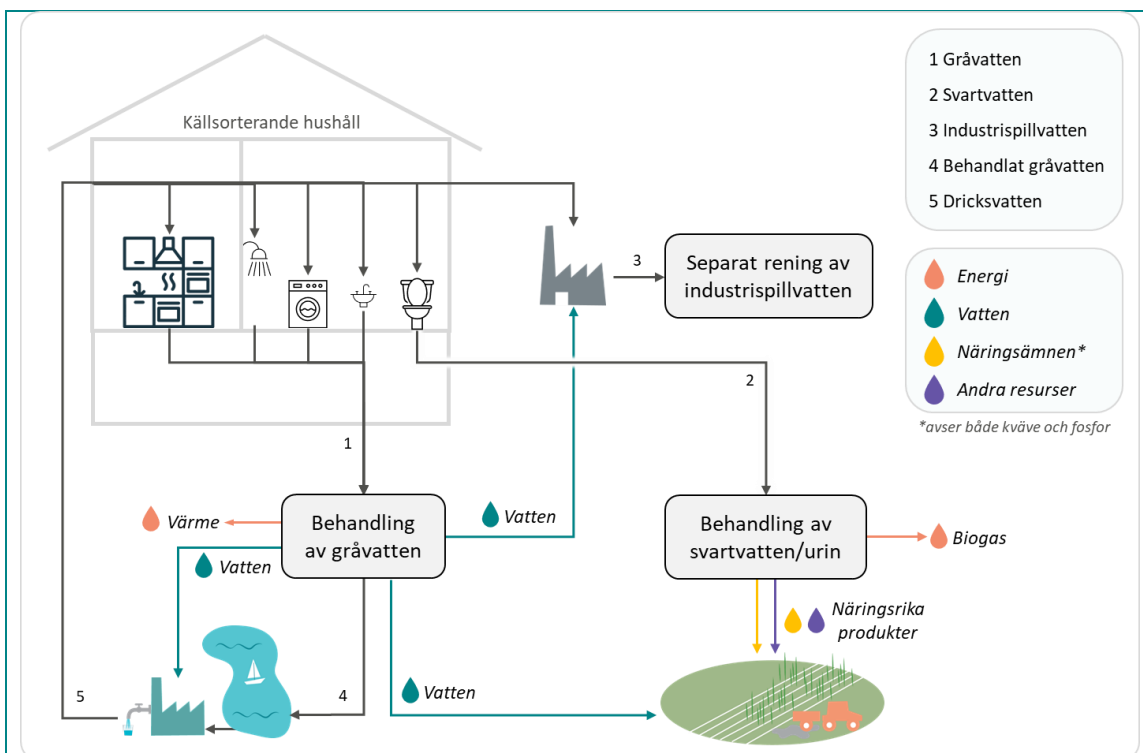
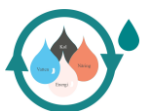
I många källsorterande system inkluderas även matavfallskvarnar för att öka biogasutvinningen genom blandning av matavfall med svartvatten. Dessa system kräver dock en del dricksvatten för transport av matavfall vilket ökar utspädningen av svartvatten och därmed minskar vissa fördelar med källsorterande system. En del av biogaspotentialen går också förlorad under transporten. Matavfallskvarnar tas därför inte med i beskrivningen av källsorterande system. Sedan 2024 får dessutom enligt nya regelverk (avfallsförordningen 2020:614) inte heller avfallskvarnar som är kopplade direkt till avloppet installeras i Sverige.

I detta system blandas inte industrispillvatten med hushållspillvatten utan hanteras i separata reningsanläggningar med målet till återvinning och rening. Dagvatten blandas inte med de andra avloppsfraktionerna i källsorterande system utan behöver hanteras separat.

Den separata hanteringen av olika strömmar innebär att en hantering av dessa strömmar med fördelkan ske i lokala resursanläggningar. Vilken behandling som behövs för gråvattnet beror på hur vattnet ska återanvändas. Själva vattnet och värmeenergi är de resurser som är i fokus för återanvändning från gråvattnet eftersom detta innehåller begränsad mängd näringsämnen och andra resurser. Det renade vattnet kan till exempel användas som råvatten vid dricksvattenberedning, till bevattning av jordbruksmark alternativt användas av olika typer av verksamheter för att minska användningen av dricksvatten.

Även vilken behandling som behövs för svartvattnet eller urinen beror på hur dessa resurser ska nyttjas. Näringsämnen och energi i form av biogas är de resurser som är i fokus för återanvändning och återvinning från svartvatten. Näringsämnen kan återanvändas efter en lämplig rening från föroreningar av svartvattnet eller urinen, alternativt återvinnas via förädling och produktifiering.

Enskilda avlopp och mindre decentraliserade avloppsreningsverk kan rymmas inom konceptet för källsorterande system och hantering av de olika avloppsfraktionerna kan efter insamling och transport i princip ske vid de lokala anläggningarna för grå- eller svartvatten. Särskilt enkla fritidshus har källsorterande system med sortering av urin, fekalier och gråvattnet som i tidigare generationer användes för att minimera restströmmar men även för nyttjande av näringsämnen.



Figur 2. Schematisk överblick över Scenario I - Källsorterande system. Färgade pilar illustrerar de vägar för återanvändning alternativt återvinning av resurser som huvudsakligen är aktuella i scenariot.

### Resurser som återanvänds eller återvinns

- **Vatten:** Det källsorterade gråvattnet har potential att återvinnas till olika kvalitet för återanvändning beroende på behov i närområdet: (i) som råvara för dricksvattenproduktion; (ii) icke-dricksvattenåteranvändning i industri, och (iii) för säsongsbetonad bevattning exempelvis av parkmark, golfbanor eller jordbruk. Återanvändning på hushållsnivå av gråvatten som INTE har genomgått en behandling till dricksvattenstandard bör undvikas för spolning av toaletter, för att hålla de växtnäingsrika flödena så rena som möjligt. Då gråvattnet utgör >60 % av spillvattnet är potentialen för detta återbruk stort (Jönsson et al., 2005).
- **Energi:** Från svartvatten kan biogas genom anaerob rötnings produceras. Potentialen för biogasproduktion ur svartvatten bedöms som stor eftersom > 50 % av energin i spillvattnet bedöms återfinnas i denna fraktion. Från gråvattnet kan framför allt värmeenergi återvinnas antingen i hushåll eller vid gråvattenanläggning via värmepumpar. Potentialen vid en återvinning nära hushållen bedöms som stora eftersom intill 100 % av värmeenergin i spillvattnet återfinns i gråvattnet (Arnell et al., 2021).
- **Näringsämnen:** Från svartvatten (eller urin) kan näringsämnen återvinnas eller återanvändas via hygienisering eller annan behandling för spridning på jordbruksmark om föroreningshalter är låga. Om alla hushåll skulle ha källsorterande system och svartvattnet återfördes utan förluster i hanteringen/reningen skulle närmare 100 % återföring av kväve och fosfor från svartvatten vara möjligt (Johansson et al., 2021). Om man jämför detta med det totala gödselbehovet skulle det motsvara ca 24 % av behovet av kväve och 17 % av behovet av fosfor (Johansson et al., 2021).
- **Andra resurser:** Mullämnen och kol samt mikronäringsämnen kan återföras till jordbruk via svartvattenspridning.



### Fördelar

- Ökad potential för resurseffektiv och säker resursåtervinning när avloppsfraktionerna hanteras separat och utspädningsgraden och risk för kontaminering t.ex. genom dag- och tillskottsvatten minskar.
- Möjlighet för återanvändning av renat gråvatten för exempelvis bevattning och industriprocesser där dricksvattenkvalitet inte krävs men också som råvara för dricksvattenproduktion och för att exempelvis kommunala isar eller till andra rekreationsanläggningar.
- Ingen risk för bräddning av orenat spillvatten. Eventuell kvarstående bräddningsrisk förekommer främst i gråvattensystem, där lägre halter patogener och näringsämnen förekommer.
- Vid svartvattensortering blir det minskad risk för spridning av patogener och antibiotikaresistens eftersom urin och fekalier inte når miljön (vare sig vatten- eller markmiljö) utan föregående hygienisering.
- Avancerad rening av exempelvis läkemedel kan eventuellt bli mer effektiv och resurssnål när den enbart tillämpas på relevanta källsorterade avloppsfraktioner som volymmässigt är mycket mindre än ett blandat spillvatten.
- Utan kväveavskiljning minskar resursförbrukningen av exempelvis el, bassängvolymmer och kolkälla och risken för avgång av lustgas minskas.
- Mer värme kan utvinnas lokalt ur ett gråvatten jämfört med ett blandat spillvatten då gråvattnet har en högre temperatur.
- Vid lokal hantering av svartvatten och gråvatten kan den lokala återanvändningen av näringsämnen och vatten bidra till en ökad lokal resiliens och krisberedskap, om hanteringen är robust.

### Nackdelar

- Omfattande infrastrukturförändring krävs för transport och hantering av olika avloppsfraktioner och potentiella föroreningar i dessa, inklusive gråvatten, svartvatten, industrispillvatten och dagvatten.
- Nya och fler ledningssystem, inklusive vakuumsystem som med fördel används i källsorterande system, innebär tekniska utmaningar och ökade kostnader. Behov av underhåll och förnyelsetakt för ledningsnät för att undvika inträngande tillskottsvatten bedöms vara högre än för traditionella system.
- I de fall de källsorterande systemen kräver ökade insatser från användaren (exempelvis för urinsorterade system) kan det medföra utmaningar ur acceptanssynpunkt.
- Vid lokal hantering av avloppsfraktioner i mindre anläggningar minskar möjligheten till de positiva skaleffekter som större anläggningar möjliggör ur resurssynpunkt. Hanteringen riskerar därför att bli mer energikrävande än storskalig hantering.
- Mindre lokala anläggningar för olika avloppsfraktioner innebär också produktion av mindre mängder av de olika resurser som kan återanvändas. Detta kan innebära svårigheter att intergers dessa produkter i marknaden och att utvinna resurser inte kommer till nytta.
- Återföring av resurser såsom vatten av icke dricksvattenkvalitet kräver extra ledningsnät eller motsvarande infrastruktur.
- Kostnader för etablering av källsorterande system ligger generellt på en högre nivå än för centraliserade system med hantering av blandat spillvatten.



- Det finns ett antal referensinstallationer i urban miljö i Europa (upp till ca 2000 PE), men det saknas ännu långtidserfarenheter som bekräftar det samhällsekonomiska fördelar som konceptet med större källsorterande system avser att åstadkomma (Kärroman m.fl., 2017; *Pilots ANCHOR* | *Interreg North Sea*)
- Kan medföra juridiska utmaningar med bl.a. ansvarsfördelning, nya utsläppspunkter, krav på ledningsdragnings och faciliteter i byggnader.
- Juridik kring tillverkning och försäljning av produkter med urin och fekalier som ursprung kan också vara utmanande i dagens regelverk.

### Projektgruppens bedömning

Det finns stora vinster ur resursåtervinningsperspektiv med ett fokus på källsorterande system. Potentialen för effektiv och säker resursåtervinning är betydligt högre när fraktionerna hanteras separat. Att nå detta helt källsorterande scenario på samhällsnivå bedöms dock osannolikt på kort och medellång sikt då det kräver en helt annan infrastruktur än vad som finns på plats idag. Att uppgradera all infrastruktur till källsorterande system inklusive om- och framför allt nybyggnation av separata ledningsnät och reningsanläggningar för att kunna behandla de olika avloppsfraktionerna är på kort och lång sikt (utifrån ett 100 års perspektiv) orealistiskt både utifrån resurs-, och kostnadsperspektiv. Därför är ett helt källsorterande system endast realistiskt för exempelvis nya stadsdelar eller i samband med utbyte av föråldrat ledningsnät. Även då behöver dock en avsättning av framtagna resurser från systemet vara säkerställt för att kunna motivera byte till källsorterande system. Även en separat rening av industrispillvatten samt tillhörande hantering av restprodukter behöver i så fall beaktas. Frågetecken kvarstår även kring tekniska lösningar och drift av källsorterande system vilket behöver utvärderas inför implementering i stor skala.

För hushåll med enskilda avloppslösningar bedöms källsorterande system dock som ett möjligt alternativ även på medellång sikt då infrastrukturen inte är lika komplex som för urbana system. För att dessa lösningar ska leda till nytta krävs dock enligt erfarenhet att kommunen är proaktiva och tar ansvar för hanteringen. Möjligheter finns även genom urinsorterande toaletter och andra lokala lösningar för återbruk lokalt på fastigheten eller genom lokala samordnade lösningar.



## 3 Scenario II – Centraliserade resursanläggningar

### Beskrivning

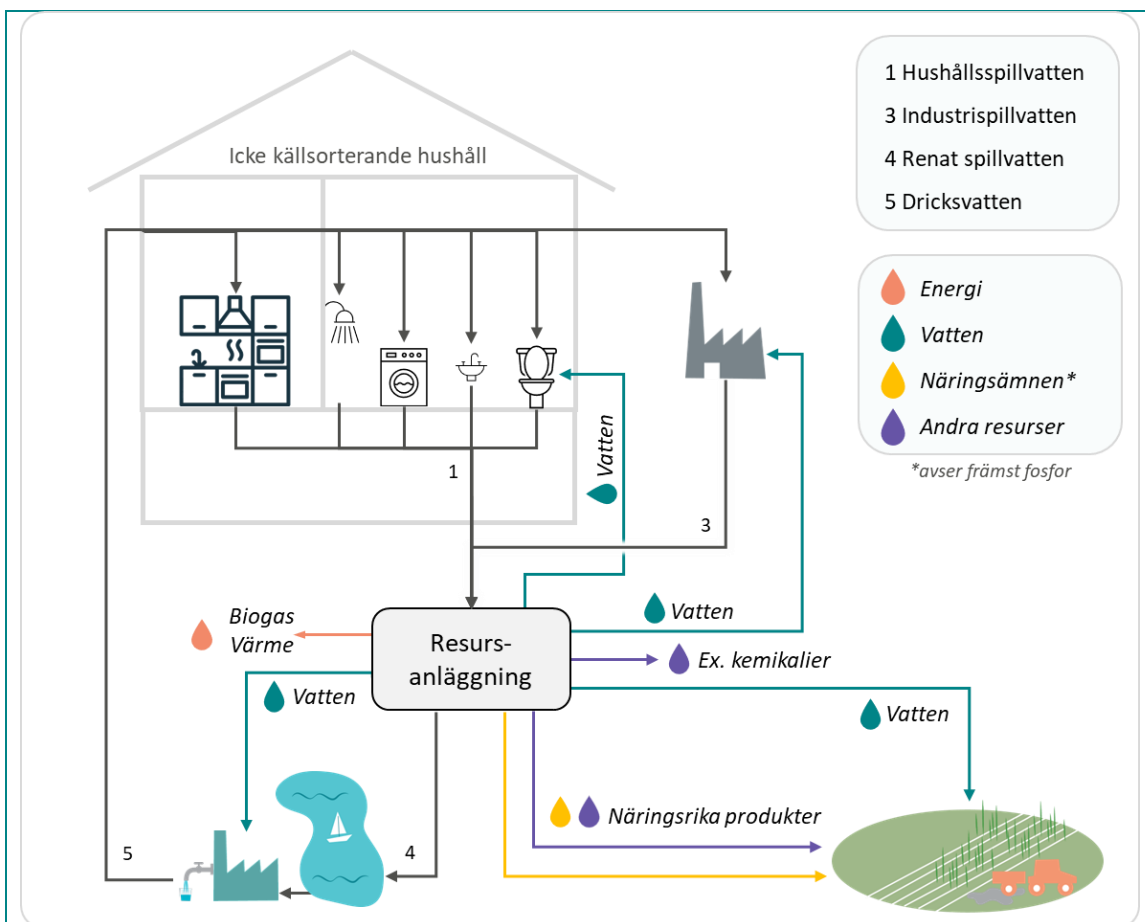
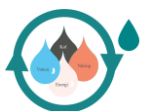
Scenario II presenteras i Figur 3 och utgår från centraliserade resursanläggningar. I detta scenario leds hushållspillvatten och industrispillvatten till samma spillvattensystem och behandlas i en centraliserad anläggning likt dagens system. Skillnaden från dagens system ligger i att den centraliserade anläggningen har fokus på resursutvinning och benämns därför som en resursanläggning. På resursanläggningen har reningsprocessen uppgraderats till, eller kompletteras med, mer avancerade reningsprocesser för att producera ett vatten av en kvalitet lämplig för tilltänkt återvinning. Vattnet kan beroende på kvalitet användas för olika ändamål som till exempel inom hushåll som toalettspolning, råvatten till dricksvattenberedning, till bevattning av jordbruksmark eller till verksamheter för att minska deras användning av dricksvatten. Det vatten som inte återvinns släpps som i dagens system till recipienten efter rening.

Likt dagens system återvinns energi i form av biogas och restvärme. Detta sker dock i högre utsträckning än idag genom optimering av processerna och utbyggnation av energitvinnning på resursanläggning. Även en lokal hushållsnära värmeåtervinning från spillvatten kan vara aktuell i detta scenario.

Från processvatten eller rötat/orötat slam på resursanläggningen utvinns näringsrika produkter för användning på jordbruksmark. Även andra resurser som exempelvis kemikalier utvinns där det är möjligt. Restprodukter som kvarstår och inte kan nyttjas för återanvändning omhändertas på lämpligt vis via exempelvis förbränning för att undvika spridning av föroreningar till miljön.

För att öka möjligheterna till resursutvinning behöver åtgärder vidtas för att minska mängden tillskottsvatten som läcker in i ledningsnätet. Detta för att minska utspädning av spillvatten och risken för förorening. Även dagvatten bör hanteras separat för att öka möjligheter för resursutvinning vid den centrala resursanläggningen. En komplett separering av dagvatten och ingen inläckage av tillskottsvatten till spillvattenätet är dock inget grundläggande krav för systemets funktion.

Decentraliserad avloppshantering kan ske på olika sätt som idag och restströmmar som inte kan hanteras lokalt kan hanteras vid den centrala resursanläggningen.



Figur 3. Schematisk överblick över Scenario II – Centraliserade resursanläggningar. Färgade pilar illustrerar de vägar för återanvändning alternativt återvinning av resurser som huvudsakligen är aktuella i scenariot.

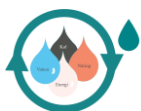
### Resurser som återanvänds eller återvinns

- **Vatten:** På resursanläggningen kan spillvattnet via rening till olika kvaliteter återvinnas för användning till hushåll, industri, jordbruk och råvattenproduktion. Potentialen motsvarar i princip hela spillvattenflödet och skulle således kunna täcka en stor del eller allt av jordbrukets/industrins/hushållens användning av dricksvatten.
- **Energi:** Vid resursanläggningen produceras biogas. Potentialen för biogasproduktion uppskattas i detta scenario vara >1 TWh biogas/år vilket motsvarar en stor del av den kemiska energin i spillvattnet. Från spillvattnet kan värme återvinnas både nära hushåll och/eller vid resursanläggningen via värmepumpar. Potentialen för detta ligger på flera tiotals TWh värme/år vilket kan utgöra en viktig del av Sveriges energibehov.
- **Näringsämnen:** Vid storskalig återvinning av fosfor ur avloppsslam samt kväveutvinning från rejektvatten (högkoncentrerad ström) utan utökad källsortering kan återvinningen täcka 3,3 % av jordbrukets kvävebehov och 18 % av jordbrukets fosforbehov (Johansson et al., 2021).
- **Andra resurser:** Olika resurser såsom metaller, fettsyror, polymerer, slamkol, etc. kan återvinnas i de fall det är lämpligt.

### Fördelar

- Scenariot bygger på existerande infrastruktur och befintliga centraliserade lösningar, även om dessa behöver uppgraderas och förbättras.





- Större fokus på resursåtervinning än i dagens system och både vatten, näringsämnen, energi och andra resurser tillvaratas i högre grad än idag.
- En av de snabbaste vägarna för att öka en resursutvinning och återanvändning från spillvattnet i samhället.
- Konceptet kring resursanläggningar har redan drivits av olika aktörer sedan >10 år och är redan accepterad av en stor del av VA-kollektivet och samhället även om faktisk återvinning av resurser endast sker i begränsad skala idag (Baresel et al., 2011; Finnson och Lind, 2020; Svenskt Vatten 2023).
- Endast mindre anpassning av tillståndsprocesser bedöms krävas. Enkelt att anpassa till nya regelverk och reningskrav då systembeskrivningen till väsentlig del liknar dagens.
- Skalfördelar med större resursanläggningar där resursutvinning blir mer resurseffektivt desto större resursanläggningen är.
- Framtagna mängder av olika resurser är generellt mycket större än vid till exempel lokala hanteringssystem vilket kan underlätta avsättningen.
- Resursanläggningar kan successivt kompletteras med nya resurstekniker när dessa blir mogna, eller samhällets behov ändras.

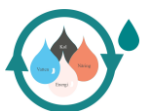
#### Nackdelar

- Mindre effektiv återvinning av resurser (exempelvis biogas och näringsämnen) ur blandat spillvatten än från källsorterade fraktioner på grund av utspädning och föroreningar.
- Stort behov av el och extern kolkälla för avdrivning av kväve.
- För ökad resurseffektivitet i den centrala resursanläggningen krävs förnyelse och underhåll av spillvattennätet för att minska mängden tillskottsvatten och blandning med dagvatten.
- Återföring av resurser såsom vatten kräver extra ledningsnät eller motsvarande infrastruktur, något som framför allt är relevant för nya etableringsområden eller vid ombyggnation av befintliga ledningsnät.
- Mer avancerade processer för återvinning och rening förbrukar ofta mycket energi och kemikalier.
- Kräver en kontinuerlig utbyggnad av både resursanläggning och ledningsnät för att möta befolkningstillväxten, om inte detta kan vägas upp genom mindre tillskottsvatten och andra åtgärder.

#### Projektgruppens bedömning

Att nyttja dagens infrastruktur och fokusera på centraliserade resursanläggningar har potential att relativt snabbt och enkelt uppdatera dagens system. Med ett större fokus på resursåtervinning och avancerad rening och implementering av tekniker för återvinning kan potentialen för nyttjande av resurserna i spillvattnet öka jämfört med dagens system. Stora centraliserade resursverk kan även ge skaleffekter som är positiva ur resursanvändningssynpunkt och ge möjligheter till optimering och synergieffekter.

Ett hinder med detta scenario är dock att inkommande vatten är en blandning av flera avloppsfraktioner vilket likt dagens system inte är optimalt ur resursåtervinningsperspektiv. Speciellt med avseende på till exempel kväve hamnar således inte en maximal återanvändning eller återvinning av kväve från spillvatten i fokus. Istället renas spillvattnet från kväve på ett sätt som tillåter en utvinning av kväve ur restströmmar som slam och rejektivatten. Processerna för att utvinna resurserna ur spillvattnet är ofta energi- och kemikaliekrävande vilket innebär en utmaning ur



miljömässig synvinkel. Samtidigt utgör en storskalig hantering att processer för resursutvinning eller rening bli avsevärt resurseffektivare jämfört med motsvarande implementering i mindre skala.

Bedömningen från projektgruppen blir därför att detta scenario har stor potential i befintlig bebyggelse för att relativt enkelt förbättra avloppshanteringssystemet för ett ökat resursutnyttjande. Samtidigt hindras en maximal återvinning av tänkbara resurser vid centraliserade resursanläggningar eftersom avloppsfraktioner blandas.

För hushåll med decentraliserade avloppslösningar kan hanteringen av restströmmar ske vid den centrala resursanläggningen så som idag.

## 4 Scenario III – Samhällsanpassat kombinationssystem

### Beskrivning

I Figur 4 presenteras ett samhällsanpassat kombinationssystem som baseras på en kombination av källsorterande system (Scenario I) och centraliserade resursanläggningar (Scenario II). Syftet med hybridscenariot är att nyttiggöra fördelar som dessa två system ger utan att begränsas av de nackdelar som uppstår för systemen i deras renodlade form. På vissa platser kan en kombination av systemen förekomma medan andra platser har helt källsorterande system med lokala eller centrala resursanläggningar för gråvatten och svartvatten medan det på vissa platser enbart finns centraliserade resursanläggningar för blandat spillvatten.

I nyetableringsområden, vid nyinstallationer och uppgraderingar bör källsorterande system där olika avloppsfraktioner separeras i så stor utsträckning som möjligt redan i hushållen eftersträvas för att kunna utvinna olika resurser, likt i Scenario I. Detta förutsatt att en lämplig avsättning och återanvändning av dessa resurser kan garanteras. Vatten och värme ur gråvattnet kan då efter lämplig behandling återanvändas till olika applikationer. Näringsämnen kan återanvändas eller återvinnas ur svartvattnet eller urinen. Denna behandling och återanvändning av gråvatten respektive svartvatten sker då framför allt på lokal och småskalig nivå men kan även ske i större skala beroende på förutsättningar och behov av resurser. I de fall som det saknas möjlighet att omhänderta några av de separerade fraktionerna kan dessa ledas till den centrala resursanläggningen. Samspelet mellan lokal hantering av olika avloppsfraktioner och hantering vid resursanläggningen kan således ändras över tid beroende på förutsättningar, resursbehov, avsättningsmöjligheter och tillgång till tekniska lösningar som kan implementeras.

I befintlig bebyggelse används infrastrukturen som redan finns fram tills att en uppgradering till helt eller delvis källsorterande system är möjlig och lämplig. Hushålls- och industrispillvatten leds till en central resursanläggning med hjälp av befintligt ledningsnät likt Scenario II. Resursanläggningen har uppgraderats för att kunna producera ett vatten av lämplig kvalitet för tilltänkt återvinning, ökad



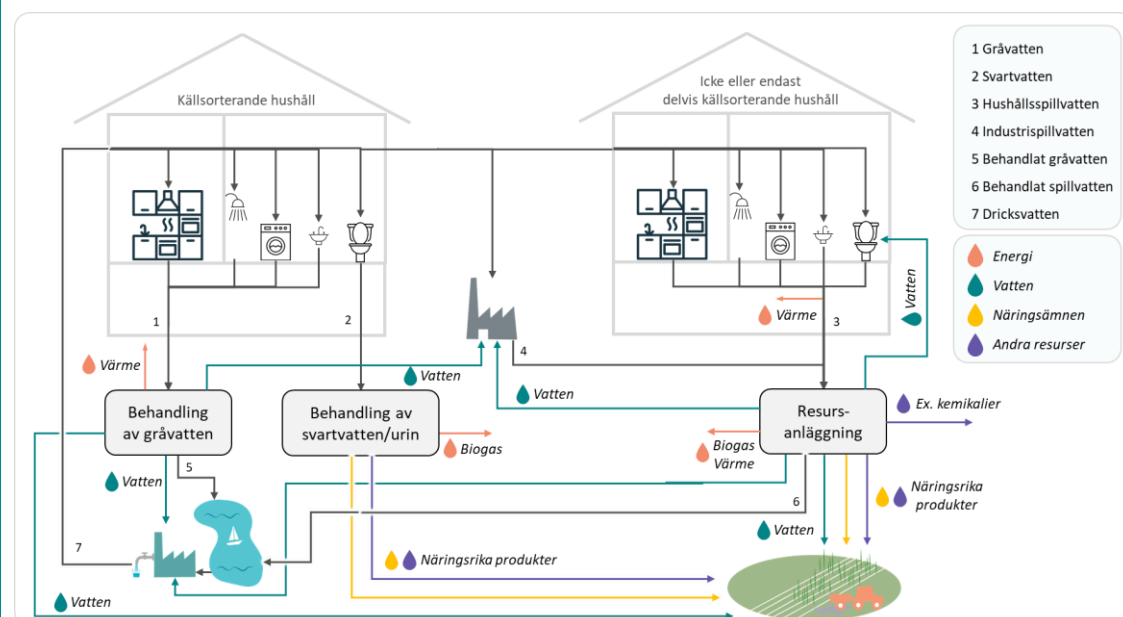
biogasproduktion, värmeutvinning och lämplig teknik för näringsåtervinning och återvinning av andra resurser. Vilka tekniker som implementeras och hur resurserna återanvänds anpassas efter lokala förutsättningar och behov och kan se olika ut mellan olika resursanläggningar. För att öka möjligheterna till resursutvinning behöver åtgärder vidtas för att minska mängden tillskottsvatten som läcker in i ledningsnätet och för att begränsa mängden kombinerade ledningssystem. Detta för att minska utspädning av resurserna och risken för föroreningar från t.ex. dagvatten.

Vattenbesparande teknik som vakuumpoletter kan nyttjas i såväl källsorterande, icke källsorterande som bara delvis källsorterande hushåll. Tekniken innebär minskad utspädning av resurser vilket ger en ökad möjlighet till återvinning vid resursanläggningar, både för blandat spillvatten och källsorterade fraktioner.

Om källsortering sker på hushållsnivå med egen gråvattenbehandling (eller endast vissa fraktioner som gråvatten från dusch/bad) och separat ledningsnät till toaletterna kan lokal återvinning av en del vatten nås på detta sätt. Även fastighetsnära värmeåtervinning underlättas. Samtidigt är det viktigt att beakta kvaliteten på vattnet om det används för toalettspolning och även svartvattenfraktionen ska kunna återanvändas som växtnäring.

Industrispillvatten kan vid behov ledas till resursanläggningen. Beroende på industrispillvattnets karaktär och lokalisering kan det i vissa fall även vara lämpligt att detta vatten leds till gråvattenbehandling eller svartvattenbehandling.

Hantering av enskilda avlopp kan ske på olika sätt precis som idag och restströmmar som inte kan hanteras lokalt kan antingen hanteras vid resursanläggningarna för grå- eller svartvattenbehandling eller den centrala resursanläggningen för blandat spillvatten.



Figur 4. Schematisk överblick över Scenario III – Samhällsanpassat kombinationssystem. Färgade pilar illustrerar de vägar för återanvändning alternativt återvinning av resurser som huvudsakligen är aktuella i scenariot.

**Resurser som återanvänds eller återvinns**

- **Vatten:** Det källsorterade gråvattnet har god potential att återvinnas till olika kvalitet för användning till industri, jordbruk och råvattenproduktion. Även från resursanläggningen kan vatten återvinnas för samma användningsområden och även för användning i hushållen då påverkan på svartvattnet inte är lika kritiskt som i källsorterande system. Potentialen motsvarar i princip hela spillvattenflödet och skulle således kunna täcka en stor del eller allt av jordbrukets/industrins/hushållens användning av dricksvatten.
- **Energi:** Från svartvatten kan biogas produceras och även vid resursanläggningen sker biogasproduktion. Potentialen för biogasproduktion uppskattas till > 1 TWh biogas/år vilket motsvarar en stor del av den kemiska energin i spillvattnet. Från gråvattnet eller spillvattnet kan värme återvinnas både i hushåll, vid gråvattenanläggning alternativt resursanläggningen via värmepumpar. Potentialen för detta ligger på flera tiotals TWh värme/år vilket kan utgöra en viktig del av Sveriges energibehov.
- **Näringsämnen:** Från svartvatten (eller urin) kan näringsämnen återvinnas eller återanvändas via hygienisering eller annan behandling. För de källsorterande delarna av systemet skulle i teorin närmare 100 % återföring av kväve och fosfor ur svartvattnet vara möjligt (Johansson et al., 2021). Även från resursanläggningen kan näringsämnen återvinnas via storskalig återvinning av fosfor och kväve från slam och rejektivatten. Om man jämför detta med det totala gödselbehovet skulle det motsvara 3,3 - 24 % av behovet av kväve och 17 - 18 % av behovet av fosfor (Johansson et al., 2021).
- **Andra resurser:** Mullämnen och kol samt mikronäringsämnen kan återföras till jordbruk via svartvattenspridning alternativt slambiotek. Andra resurser såsom metaller, fettsyror, polymerer, slamkol, etc. kan återvinnas från resursanläggningen i de fall det är lämpligt.

**Fördelar**

- Potentialen med källsorterande system kan tillvaratas på lämpliga platser och i takt med utbyggnad, utan att all infrastruktur behöver byggas om på en gång i befintlig bebyggelse.
- Scenariot låser inte in sig i en lösning för alla områden vilket möjliggör för flexibilitet, lärande och ständig anpassning utefter ny teknikutveckling.
- Systemet anpassas efter lokala förutsättningar och behov vilket kan möjliggöra för synergieffekter och optimering.
- Med viss grad av lokala källsorterande system, arbete för att minska mängden tillskottsvatten, och minskat vattenanvändning t.ex. genom återanvändning kan behovet av att bygga ut befintliga avloppsreningsverk undvikas eller fördröjas.
- I takt med en kontinuerlig utbyggnad av samhällsanpassat kombinationssystem minskar även utspädning av spillvattnet som når resursanläggningen som ökar möjligheten till en resurseffektiv rening av spillvattnet och resursutvinning.
- En effektiv rening av spillvatten kan åstadkommas vid de centrala resursanläggningar vilket även ökar möjligheterna att uppnå hårdare utsläppskrav.
- Kan fördröja behovet av förnyelse på existerande ledningsnät och öppna upp för bebyggelse där det idag inte går på grund av kapacitetsbrist i ledningsnät.
- Att källsortera fraktioner och omhänderta dem separat skulle förlänga den tekniska livslängden på befintliga reningsverk då även belastningen minskar.



Minskad belastning skulle senarelägga ett behov av kapacitetshöjande ombyggnationer.

#### Nackdelar

- En investering i infrastruktur i hushåll, ombyggnation av ledningsnät och uppgradering av reningsverk till resursanläggningar samt anläggningar för behandling av grå- och svartvatten krävs.
- Kan medföra juridiska utmaningar kopplat till bland annat ansvarsfördelning, nya utsläppspunkter och nya produkter med ursprung ur avloppsfraktioner.
- Vissa tekniker och juridiska förutsättningar behöver vidareutvecklas och förtydligas innan potentialen med detta scenario kan uppnås.
- Saknas erfarenheter av ett liknande samhällsanpassat kombinationssystem i fullskala.
- Vissa former av återanvändning är beroende av hög acceptans som inte kan förutsättas, såsom i fallet för urinsortering och användning av lokalt renat grävatten.

#### Projektgruppens bedömning

Scenariot med samhällsanpassat kombinationssystem kan sammanfattats som den bästa vägen framåt med två mycket lovande, men inte perfekta, system för framtiden. Scenariot ger utrymme för olika lösningar beroende på lokala förutsättningar och behov utan att låsa in sig i dyr storskalig teknik med långa återbetalningstider. Tekniker kan anpassas och bytas ut mot andra över tid, med ökande andel källsorterande åtgärder uppströms. Scenariot förutsätter varken en total källsortering med olika anläggningar för återvinning av resurser från de separata flöden eller totalt fokus på centrala resursanläggningar för blandade spillvatten utan systemets utformning bestäms av samhällsbehovet. Den centrala resursanläggningen för blandat spillvatten kan även kompletteras med lokala resursanläggningar, ifall detta ger en ökad samhällsnytta vid exempelvis etablering av nya stadsdelar. Även för anläggningar för källsorterade avloppsfraktioner gäller att de kan förläggas såväl lokalt som centraliserat beroende på samhällsnyttan.

Detta scenario bygger på att den nybyggnation som sker i svenska städer idag planeras i större utsträckning ske med källsortering av grå- och svartvatten, samtidigt som en omvandling av existerande reningsverk till centrala resursanläggningar för blandat spillvatten pågår. Scenariot tillåter en kontinuerlig anpassning av infrastrukturen i olika samhällsdelar efter teknikmognad och samhällsbehov, samtidigt som flexibla optimerings- och synergimöjligheter medför förhållandevis låga samhällskostnader och stor nytta. Olika viktiga aspekter behöver vägas mot varandra vid implementering av nya tekniker/system, som resursåterföring kontra miljömålet Giftfri miljö, vilket bedöms kunna hanteras flexibelt i detta scenario.

För hushåll med enskilda avloppslösningar finns med detta scenario ökade möjligheter för källsortering eftersom det finns resursanläggningar för av svartvatten eller urin på fler platser än idag.



## 5 Referenser

- af Petersens, E., Strand, L. 2022. MACRO 3: Återföring av näring från källsorterade avlopp - nulägesstudie.
- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., Jeppsson, U. 2021. Värmeåtervinning ur avloppsvatten. Energiåtervinning och påverkan på avloppssystemet. SVU-rapport 2021-26. Stockholm, Svenskt Vatten.
- Baresel, C., Ek, M., Ekengren, Ö., Levlin, E., Bengtsson, L., Trela, J., Plaza, E. 2011. Hammarby Sjöstadverk – Uppstart av Försöks- och Demonstrationsanläggningen för Framtidens Kommunala VA-Teknik. SVU Rapport Nr C IVLB1954.
- Eriksson, M. 2023. Miljörapport 2022. Avloppsverksamheten Stockholm Vatten och Avfall. Diarienummer: 23SVOA185.
- Finsson, A., Lind, S., 2020. Hållbar och cirkulär VA – från avlopp till resurs. Delegation för cirkulär ekonomi. <https://www.delegationcirkularekonomi.se/>
- Johansson, M., Magnusson, S., Jönsson, H. 2021. Ökad cirkularitet och minskad övergödning: potentialen i svenskt lantbruk och livsmedelskedja. WWF.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model. Urban Water Report 2005:6.
- Kärrman, E., Kjerstadius, H., Davidsson, Å., Hagman, M., Dahl, S. 2017. Källsorterande system för spillvatten och matavfall – erfarenheter, implementering, ekonomi och samhällsnytta. Svenskt Vatten, rapport 2017-04.
- SMED 2024. SMED metadata "Dokumentation – PLC8". SCB 2022-04-20.
- SCB, 2022. Produktion och användning av slam, ton torrsustans efter användningskategori och vartannat år. PxWeb [WWW Document]. URL [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_MI\\_MI0106/MI0106T03/able/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0106/MI0106T03/able/tableViewLayout1/) (accessed 11.23.23).
- Svenskt Vatten 2023. Från reningsverk till resursverk – en nulägesbeskrivning. M153.