

A hand holding a test tube with green liquid and a hazard label. The label features a skull and crossbones symbol and the text 'Danger Gefahr'. The background is a blurred laboratory setting.

RENING AV MIKROFÖRORENINGAR VID AVLOPPSRENINGSVERK

ALLT DU BEHÖVER VETA OM RESURSEFFEKTIV
RENING AV MIKROFÖRORENINGAR

KONTAKT

CHRISTIAN BARESEL
christian.bareisel@ivl.se | +46-10-788 66 06
www.ivl.se | www.hammarbysjostadsverk.se

Denna handbok är en kortfattad version av rapporten B2288 "Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk - Planering och installation av reningstekniker för läkemedelsrester och andra mikroföroreningar" som kan laddas ner under www.ivl.se eller www.hammarbysjostadsverk.se.

Handboken är utvecklad i samarbete mellan reningsverk, IVL Svenska Miljöinstitutet och KTH och är medfinansierad av Havs- och vattenmyndigheten.



VARFÖR SKA VI RENA ÄNNU MER?

I de läkemedel som idag används i Sverige ingår över tusen aktiva substanser. Många av dessa substanser kan detekteras i det avloppsvatten som kommer in till reningsverken, i vissa fall i så pass höga halter att miljöstörande effekter påvisats. Det kanske enskilt största motivet till att införa rening av läkemedel är könsbyte och sterilitet hos fisk och groddjur vid exponering av könshormoner, som är vanligt förekommande i p-pillers. Ett annat uppmärksammat exempel är förändrat beteende hos abborrar vid exponering av det ångestdämpande medlet oxazepam. Även substanser som metoprolol, fluoxetin och karbamazepin har visat effekter på fisk, vid halter som uppmätts vid svenska avloppsreningsverk.

Förutom läkemedelsrester, finns ett antal andra föroreningar som kan medföra negativa effekter i recipienten. Bakterier, parasiter och virus från mänsklig avföring kan innebära risk för sjukdomsspridning, och risken för spridning av antibiotikaresistens är av särskild betydelse. Flamskyddsmedel, fenoler och dioxiner är andra föroreningar som också bör beaktas.

Många av dessa substanser bör inte spridas i naturen. Det finns dock en stor oenighet gällande i vilken uträkning just reningsverken ska ta huvudansvaret för reningen av dessa. Vår natur är ett extremt heterogent och komplext system, vilket gör

det nästintill omöjligt att påvisa samband mellan en viss halt av en substans till en viss effekt. Detta medför också att lagstiftning försvåras. Vilka av de tusentals föroreningarna ska prioriteras? Vilka reningsmål ska sättas upp? Hur ska det följas upp?

Vilka av de tusentals föroreningarna ska prioriteras och vilka reningsmål ska vi ha?

Det råder en stor osäkerhet kring mikroföroreningar och rening av dessa. Vi anser att en rening av så många mikroföroreningar som möjligt, till så låga halter som möjligt, bör eftersträvas, så länge detta kan genomföras på ett resurseffektivt och hållbart sätt. Hållbart, både med avseende på kostnader, total miljöpåverkan och flexibilitet för de framtida utmaningar vi ännu inte vet hur de ser ut.

VILKA FÖRORENINGAR SKA RENAS?

Förutom läkemedelsrester finns ett antal icke organiska och andra svårnedbrytbara organiska föroreningar och effekter som samlas under begreppet mikroföroreningar.



- **Läkemedelsrester:** Gruppen inkluderar bl.a. antibakteriella, antiinflammatoriska, antidepressiva, neuroleptika, lugnande medel, bedövningsmedel, hjärtmediciner, könshormoner, blodförtunningspreparat samt cytostatika. Deras egenskaper kan variera mycket kraftigt mellan olika substanser vilket utgör en begränsning för en universell reningsteknik. 50% av substanserna bedöms inte kunna renas bort i dagens reningsverk och uppströmsarbetet försvaras pga. oavsiktlig tillförsel (utsöndring via urin och avföring). Substanserna 17 β -estradiol, 17 α -etinylestradiol, azitromycin, claritromycin, erytromycin och diklofenak finns med på bevakningslistan i EU:s ramdirektiv för vatten.
- **Smittrisk:** Patogener är vanliga i svenska avloppsvatten och inkluderar bakterier, parasiter och virus från mänsklig avföring. Patogener kan innebära en risk för sjukdomsspridning.
- **Antibiotikaresistens:** WHO klassificerar antibiotikaresistens som ett av de största hoten mot världshälsan. Att bedöma när utveckling av resistens kan ske är nästintill omöjlig, men avskiljning av bakterier i reningsprocessen är troligen viktigare än rening av antibiotikarester. Resistens kan överföras direkt mellan bakterier och via DNA från döda celler. Närvaro av antibiotika påskyndar resistensbildningen men resistensen kan kvarstå länge även vid borttagning av antibiotikan.
- **Samlad toxicitet:** Samlad toxicitet är ett viktigt mått för att inkludera alla beståndsdelar i utgående vatten. Full kunskap om de ämnen som finns i avloppsvatten (t.ex. cocktaileffekter) kommer aldrig att nås. Toxiciteten utreds på tre trofiska nivåer i näringskedjan som primärt berörs av utsläppet, vanligtvis alg, kräftdjur och fisk om möjligt, genom långtidstester.
- **Flämskyddsmedel:** Gruppen flämskyddsmedel omfattar ett stort antal olika typer av kemikalier med olika fysikaliska och kemiska egenskaper. Många flämskyddsmedel är persistenta, bioackumulerande och hormonstörande. Vissa återfinns som prioriterade ämne på EU:s ramdirektiv för vatten.
- **Mjukgörare:** Mjukgörare används i PVC och äldre produkter och har delvis ersatts med nya på grund av påvisade negativa hälsoeffekter såsom cancerogena effekter och minskad spermproduktion hos män.
- **Fenoler:** Många fenoler är hormonstörande vilket visat sig påverka fisk som lever nedströms avloppsreningsverk. Användningen har minskat, särskilt för nonylfenoler, bisfenol-A och triklosan. Nonylfenol och oktylfenol återfinns båda som prioriterade ämnen på EU:s ramdirektiv för vatten.
- **Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS):** Omfattar en grupp substanser som historiskt har använts i stor utsträckning i tekniska produkter och som på grund av den extrema persistensen kommer att återfinnas i avloppsvatten under lång tid framöver även om vissa håller på att fasa ut. EU:s ramdirektiv för vatten klassar vissa substanser som t.ex. PFOS som ett ämne som bör bevakas över tid.
- **Dioxiner och PCB:** Dioxiner och PCB återfinns i avloppsvatten trots förbud då de historiskt använts i stor utsträckning och är extremt svårnedbrytbara. Den låga vattenlösligheten ger en bra avskiljning i dagens reningsverk men innebär samtidigt att de återfinns i avloppsslam. Vissa dioxiner återfinns som prioriterade ämnen på EU:s ramdirektiv för vatten.
- **Tungmetaller:** De flesta metaller är starkt partikelbundna varför mer än 80-90 % av alla dessa metaller återfinns i avloppsslammet. Bräddvatten bedöms ge de största utsläppen av metaller till recipienter.
- **Mikroplaster:** Har kunnat påvisas i många akvatiska djurarter och man har funnit förhöjda koncentrationer i djur som lever i utsläppsområden för avloppsvatten. Upp till 99 % kan renas bort redan i dagens reningsverk genom överföring till slammet. Kunskapen om effekterna av mikroplast ute i miljön är fortfarande bristfällig. Förekomst av mikroplast i havet lyfts i EUs havsmiljödirektiv (2008/56/EG).
- **Andra föroreningar:** Anjoniska tensider (beståndsdel i rengöringsprodukter), syntetiska sötningsmedel (t.ex. sukralos), bekämpningsmedel, triklorbensener, kloralkaner, siloxaner, m.m. är andra mikroföroreningar som bör beaktas.
- **Glöm inte bort slämhanteringen!** Att öka rening av mikroföroreningar från avloppsvatten innebär i många fall att fler mikroföroreningar hamnar i slammet. Vissa av dagens slamkvittblivningsalternativ kan därmed leda till en ökad spridning av dessa föroreningar i miljön vilket samtidigt försvårar för effektiva åtgärder.

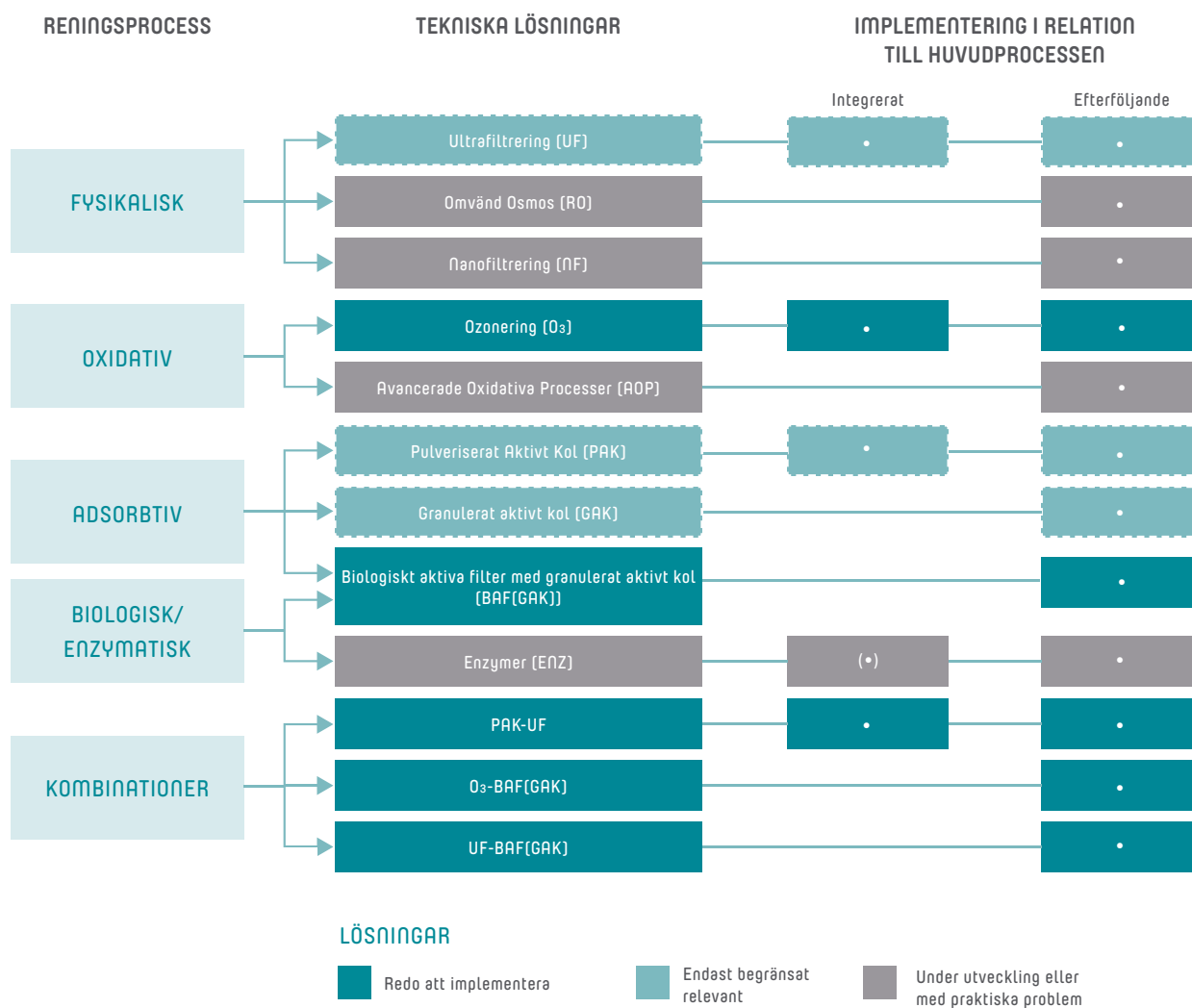


RENINGSPRINCIPER

Det finns olika grundläggande reningsmekanismer som påverkar hur effektiv reningen är och vad som sker med mikroföroreningsarna. Baserat på dessa mekanismer finns flera tekniker tillgängliga idag och ytterligare några är på gång att kunna implementeras inom de närmaste åren. Som realistiska alternativ avses endast resurseffektiva processer som jämfört med andra tekniker ger ett mervärde i reningen.

Den pågående teknikutvecklingen kommer att påverka vilka reningstekniker som blir mest attraktiva i framtiden och en implementering av reningstekniker bör ta hänsyn till denna utveckling samt eventuella framtida krav. I denna folder kan du ta del av vilka tekniker som kan integreras i huvudreningen (aktivslamprocess) och vilka tekniker som kan komplettera en existerande reningprocess.

- **Fysikalisk rening:** Partikulära föroreningar separeras från avloppsvatten och hamnar antingen i slammet eller behöver omhändertas separat. Ultrafiltrering efter huvudprocessen eller integrerat (vilket blir en MBR - MembranBioReaktor) är idag den mest resurseffektiva tillgängliga tekniken. Fallande priser och teknikutveckling öppnar dock även för mer avancerade filtertekniker.
- **Oxidation:** Mikroföroreningsarna omvandlas till nedbrytningsprodukter som till stor del är okända och som kan vara skadligare än ursprungssubstansen. Vanligast är ozonoxidation men även väteperoxid (H_2O_2), kloridioxid (ClO_2) eller andra mer avancerade oxidationstekniker kan bli relevanta för vissa mikroföroreningsarna med ökande krav och pågående teknikutvecklingen.
- **Biologisk (enzymatisk) rening:** Bryter ner organiska föroreningar med hjälp av biologiska processer inklusive enzymer. Motsvarar i princip dagens reningsteknik i reningssystem, dock med kraftfullare eller mer specialiserade mikroorganismer för svårnedbrytbara organiska föroreningar. Enzymrening avser att bryta ner föroreningar med anpassade enzymer för en riktad reningseffekt.
- **Adsorption:** Innebär att mikroföroreningsarna fästs på en aktiv yta som behöver ersättas vid mättnad. Granulerat aktivt kol i en filterbädd och pulveriserat aktivt kol som tillsätts i processen är de vanligaste tekniker som även används i dricksvattenproduktionen. Biokol som produceras från organiska restprodukter håller på att utvecklas.
- **Kombinationer:** Kombinerar minst två kompletterande reningstekniker för en bredare och mer effektiv rening.



Figuren visar en schematisk karakterisering av olika kompletterande reningstekniker.

FÖRUTSÄTTNINGAR SOM PÅVERKAR TEKNIKVALET

Vid val av lämplig teknik för rening av olika mikroföroreningar finns olika aspekter som måste beaktas. Dessa aspekter påverkar hur resurseffektiv den implementerade lösningen blir, på både kort och lång sikt. Generellt gäller att det krävs en holistisk bedömning av hela systemet. Vid ett planerat byte av huvudreningsprocess bör en kompletterande rening av mikroföroreningar anpassas så att den antingen kan integreras på ett resurseffektivt sätt eller så att huvud- och kompletterande reningssteg anpassas till varandra. Även andra aspekter som provtagning, slamhantering, platsspecifika förutsättningar m.m. är av betydelse.

- **Uppströmsarbete:** Åtgärdbara punktkällor och en möjlig utfasning av mikroföroreningar bör prioriteras. Rening av mikroföroreningar vid reningsverk ersätter INTE uppströmsarbete. Bräddvatten kan utgöra en signifikant del av totalutsläppen av mikroföroreningar och behöver beaktas om en resurseffektiv rening eftersträvas.
- **Recipientförutsättning:** Utgående vatten som späds ut kraftigt i en stor recipient med hög vattenomsättning ger mindre risk för negativa miljöeffekter medan låg utspädning, i en liten recipient med lågt vattenutbyte ökar risken. Glöm inte att utspädningen kan variera kraftigt över året! En utspädning som är lägre än 8 gånger bör beaktas som kritiskt oavsett recipient.
- **Existerande reningsprocess:** Rening av mikroföroreningar är endast motiverad om en avancerad rening av närsalter, organiskt material och suspenderande ämnen redan finns implementerad. Förväntas reningsprocessen ändras i framtiden bör teknikvalet ta hänsyn till detta. Vid t.ex. en ombyggnad till MBR för rening till mycket låga närsaltskoncentrationer och partikelhalter påverkas teknikvalet för en kompletterande rening av mikroföroreningar. En sämre huvudrening påverkar teknikvalet framförallt med avseende på om den extra reningen ska byggas in i huvudprocessen eller läggas som ett poleringssteg.
- **Arbetsmiljö:** Även om de olika teknikerna kan medföra en ökad kemikalie- och gashantering samt andra arbetsmiljöaspekter, så finns det inga risker som inte kan hanteras genom ett förebyggande arbetsmiljöarbete.
- **Slamhantering:** Spridning av slam på åkermark eller som jordförbättring innebär att mikroföroreningar som finns i slammet sprids i miljön. Reningstekniker som överför mikroföroreningar från vattnet till slammet medför en ökning av denna risk och en alternativ slamhantering som tar hand om mikroföroreningar vore önskvärd.
- **Mikroföroreningskartering:** Om det inte finns en tydlig kartering av mängden mikroföroreningar genom anläggningen inkl. slam bör detta göras inför val av teknik. Detta för att få en uppfattning om vilka mikroföroreningar och tekniker som bör prioriteras. OBS: provtagning, upparbetning och analys är särskilt viktig när det gäller mikroföroreningar. Brister i dessa led kan leda till fel slutsatser och teknikval. Detta gäller även vid test av olika tekniker! Dagens läkemedelsanalyser underskattar faktiska halter i avloppsvatten med i genomsnitt 50 % i inkommande och 35 % i utgående vatten från reningsverk. Felbestämningen för enstaka substanser kan vara signifikant högre!
- **Flödesdimensionering:** Rening av mikroföroreningar kan antingen ske till mycket låga halter i ett konstant sidoflöde, som sedan blandas med övrigt behandlat vatten, eller i hela flödet, vilket medför belastningsvariationer som behöver hanteras. En flödesutjämning och en effektiv bräddvattenrening bör eftersträvas.
- **Anläggningspecifika begränsningar:** Vissa specifika begränsningar vid anläggningen kan påverka teknikvalet. Ozonering kräver t.ex. ett stort effektuttag, filterbassänger kräver mycket plats, m.m.

TEKNIKER OCH DIMENSIONERING

Här beskrivs de mest relevanta teknikerna¹ i korthet, med dess viktigaste för- och nackdelar samt dimensioneringsgrunder. Reningseffektivitet med avseende på olika mikroföroreningar ges i översikten på sista sidan.

OZONERING (O ₃)	
<p>Fördelar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ger en bra rening • Känd, enkel och en jämförelsevis billig teknik (dock räknas då inte poleringssteget med) • Flera övervaknings- och styrkoncept finns med spektralabsorbans vid 254 nm (UVA254 eller SAK254) som den vanligaste • Dosering kan anpassas till belastning och flödesvariationer 	<p>Nackdelar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mindre effektiv jämfört med aktivt kol på vissa substanser • Kräver mycket energi vid reningsverk för ozonproduktion • Skapar delvis okända nedbrytningsprodukter och därmed rekommenderas ett extra poleringssteg • Ingen desinfektion vid relevanta ozondoser • Ozonkonsumerande ämnen (t.ex. järn, nitrit) ökar ozonbehovet/kostnader • Realtidsmätning/-styrning kräver fortsatt viss utveckling
<p>Dimensionering</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5-7 g O₃/m³ (eller 0,5-0,7 mg O₃/mg DOC) (högre vid ozonkonsumerande ämne t.ex. 1,1 mg O₃/mg NO₂) • Ozonproduktion och -inblandning bör kunna anpassas till belastningsdynamiken • Kontroll via UVA254 förändring och O₃-residual rekommenderas • Kontakttid ~10 minuter 	<p>Placering</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integrerad eller som slutbehandling med efterpolering • Låg partikelhalt och hög reningsgrad minskar ozondos • Placering påverkar tillförlitligheten av online övervakning och styrning • Kylning vid ozontillverkning krävs

¹Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. 2017. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C235.

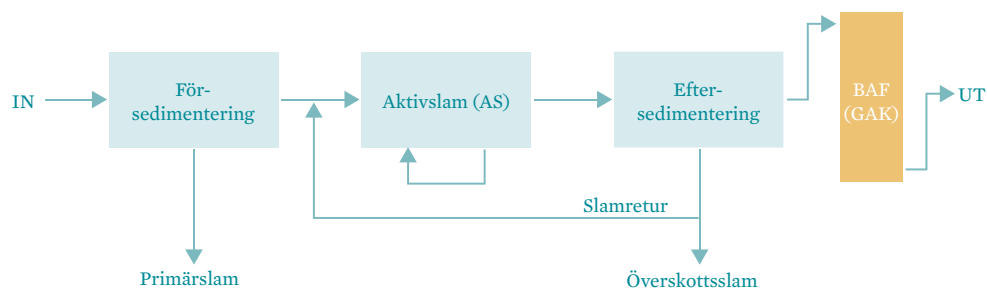
BIOLOGISKT AKTIVT FILTER MED AKTIVT KOL SOM FILTERMATERIAL (BAF(GAK))

Fördelar

- Ger en effektiv rening genom adsorption och biologiskt (enzymatiskt) nedbrytning
- Känd teknik som kan jämföras med sandfilter
- Kan även köras med andra filtermaterial
- Integrerad regenerering av filterkapaciteten genom biologisk nedbrytning
- Skapar inga skadliga nedbrytningsprodukter
- Mikroföroreningar förstörs vid nedbrytning (och vid filtermaterialdestruktion/regenerering)
- Kan i framtiden gynnas av biokolproduktion
- Låg energiförbrukning vid reningsverk

Nackdelar

- Kräver mycket energi och material vid tillverkning/regenerering av aktivt kol
- Igensättning av filtret pga. biologisk tillväxt behöver övervakas och kontrolleras via backspolning
- Realtidsövervakning kräver fortsatt utveckling, spektralabsorbans vid 254 nm (UVA254 eller SAK254) inte generellt tillämpbar
- Kräver plats för filterbassänger
- Flödesvariationer kan endast hanteras i en begränsad omfattning
- Kräver en etableringsperiod för biologin, GAK som filtermaterial ger dock en omedelbar reningseffekt



Dimensionering

- Olika filtermaterial påverkar påväxt och adsorption, GAK eller motsvarande material rekommenderas
- <math><20 \text{ g GAK/m}^3</math> (eller <math><2 \text{ mg GAK/mg DOC}</math>)
- Kontakttid ~10 minuter
- Gravitationsflöde
- Backspolning med luft och vatten

Placering

- Endast som slutbehandling
- Låg partikelhalt och hög reningsgrad ger en ökad kapacitet/livslängd av filtret
- Backspolvatten till huvudreningen
- Två eller flera kolfilter kan kopplas i serie för signifikant ökat utnyttjande av kolkapaciteten

PAK-UF (INKL. PAK-MBR)

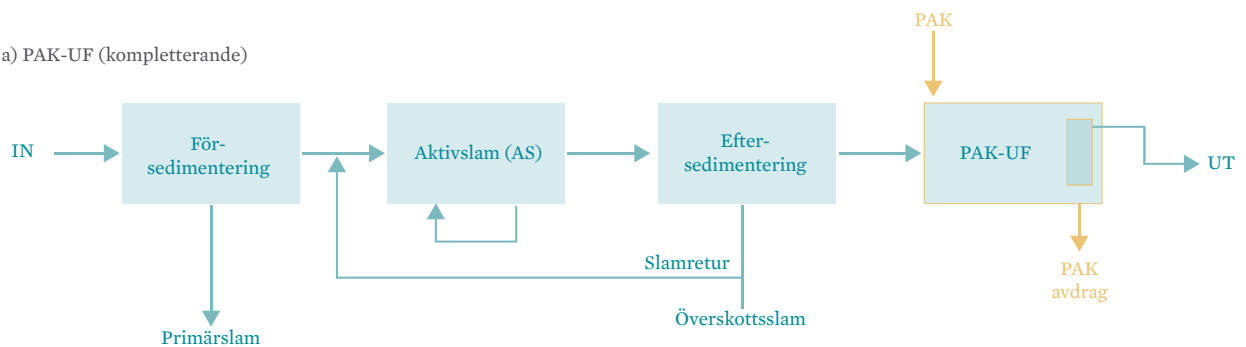
Fördelar

- Ger en effektiv rening
- Åstadkommer desinfektion av vattnet
- Skapar inga skadliga nedbrytningsprodukter
- Kan i framtiden gynnas av biokolproduktion
- Dosering av PAK kan lätt anpassas till belastningen och flödesvariationer
- Mikroföroreningar förstörs vid kolregenerering

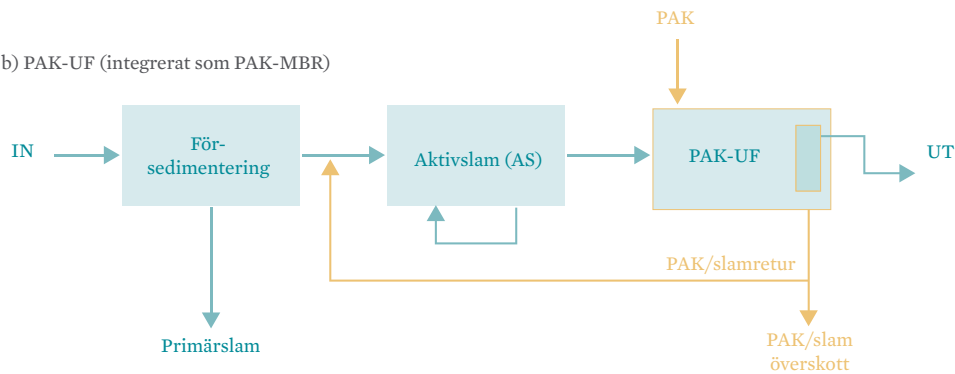
Nackdelar

- Kräver mycket energi och material vid produktion av aktivt kol
- Kräver mycket energi och kemikalier vid UF-drift
- Mikroföroreningar överförs till slammet/PAK-slurry som kräver separat hantering
- Regenerering av PAK är vanligtvis inte möjligt vilket medför högre kostnader och miljöpåverkan från PAK-produktion
- Vid en integrerad lösning leder tillsats av PAK till en slamkontaminering

a) PAK-UF (kompletterande)



b) PAK-UF (integrerat som PAK-MBR)



Dimensionering

- Nominell porstorlek <math><0,02 \mu\text{m}</math> (Alt a)
- Nominell porstorlek <math><0,04 \mu\text{m}</math> (Alt b)
- 20-25 g PAK/m³ (eller 2-2,5 mg PAK/mg DOC)
- Kontaktid >15 minuter

Placering

- Endast som slutbehandling
- Integrerat i huvudreningen (MBR-process) eller som poleringssteg
- Dosering av PAK före UF

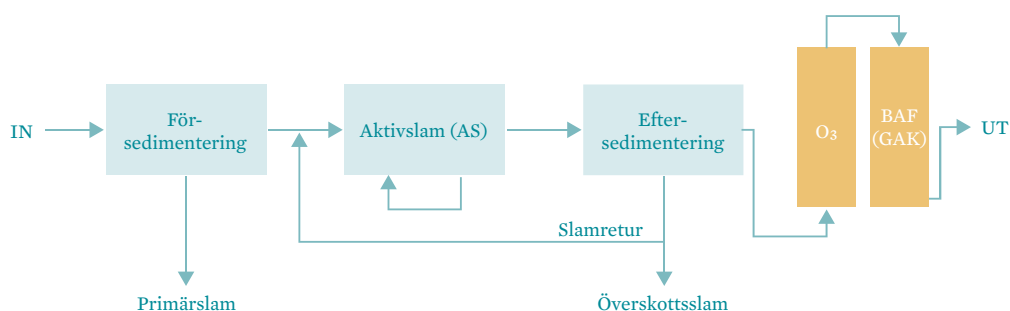
KOMBINATION OZONERING & BIOFILTER MED AKTIVT KOL O₃-BAF(GAK)

Fördelar

- Ger en effektiv rening genom ozonoxidation, adsorption och biologisk nedbrytning
- Förhöjda syrehalter efter ozoneringen gynnar biofiltret
- Kombination av kända tekniker
- Skapar inga skadliga nedbrytningsprodukter
- Mikroföroreningar förstörs vid kolregenerering
- Kan i framtiden gynnas av biokolproduktion
- Övervaknings- och kontrollkoncept tillgängliga med spektralabsorbans vid 254 nm (UVA 254 eller SAK 254) som den vanligaste
- Belastnings-/flödesvariationer kan hanteras i viss utsträckning

Nackdelar

- Kräver mycket energi och material till vid produktion/ tillverkning av aktivt kol
- Ingen svensk tillverkning/regeneration idag
- Kräver mycket energi till ozonproduktion vid reningsverket
- Realtidsövervakning av teknikkombinationen under utveckling
- Flera processteg (som dock kan kombineras i en enhet)



Dimensionering

- <math><5-7 \text{ g O}_3/\text{m}^3</math> (eller <math><0,5-0,7 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC}</math>) (högre vid ozonkonsumerande ämne t.ex. $1,1 \text{ mg O}_3/\text{mg NO}_2$) samt <math><20 \text{ g GAK}/\text{m}^3</math> (eller <math>< 2 \text{ mg GAK}/\text{mg DOC}</math>)
- Kontakttid ~10 minuter för varje steg

Placering

- Endast som slutbehandling
- Låg partikelhalt och hög reningsgrad ökar kapaciteten/ livslängden av kolfiltret och minskar ozonbehovet

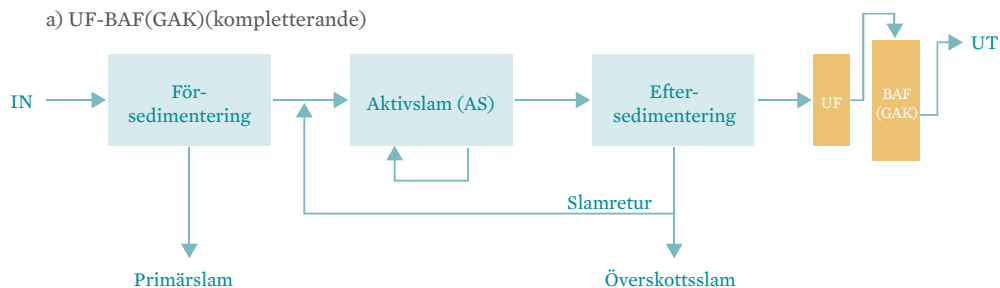
UF-BAF(GAK) (INKL. MBR-BAF(GAK))**Fördelar**

- Ger en effektiv rening med känd teknik
- Skapar inga skadliga nedbrytningsprodukter och mikroföroreningar förstörs vid kolregenerering
- Åstadkommer en desinfektion
- Kan i framtiden gynnas av biokolproduktion
- Belastnings-/flödesvariationer kan hanteras i viss utsträckning
- Enkel driftssäkerhet, -övervakning

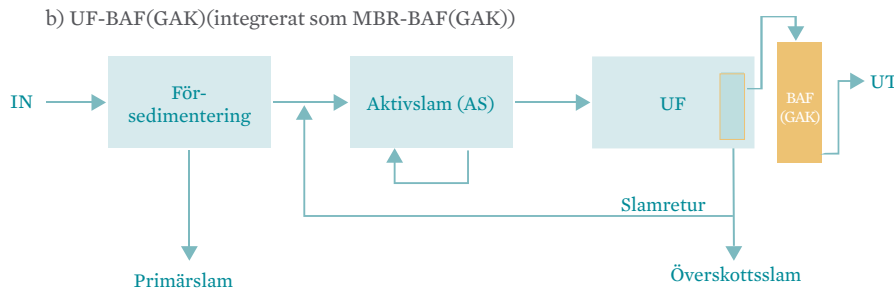
Nackdelar

- Kräver mycket energi och material vid produktion/regenerering av aktivt kol
- Ingen svensk tillverkning/regenerering idag
- Kräver mycket energi och kemikalier vid UF-drift
- Hög energiförbrukning vid reningsverk pga. UF-steget
- Kräver förfiltrering (< 1-3mm)

a) UF-BAF(GAK)(kompletterande)



b) UF-BAF(GAK)(integrerat som MBR-BAF(GAK))

**Dimensionering**

- Nominell porstorlek <0,02 μm (Alt a), <0,04 μm (Alt b)
- Kräver förfiltrering (< 1-3mm)
- 10-25 g GAK/ m^3 (eller 1-2,5 mg GAK/mg DOC)
- Kontakttid \sim 10 minuter
- Gravitationsflöde (eller trycksatt)
- Backspolning med luft och vatten

Placering

- Endast som slutbehandling integrerat i huvudreningen (MBR-process) eller som poleringssteg
- Två eller flera kolfilter kan kopplas i serie för signifikant ökat utnyttjande av kolkapaciteten

Dimensioneringen av tekniklösningar måste baseras på anläggningsspecifika förutsättningar som tar hänsyn till befintlig infrastruktur som kan användas, omfattning av anläggningsarbeten, belastning och önskad redundans samt synergier med andra anläggningsdelar eller reningsmål. Pilotstudier på plats rekommenderas dock inför varje enskild installation, gärna med en oberoende granskning av teknikleverantören för att finna den mest resurseffektiva lösningen.

MILJÖPÅVERKAN FRÅN OLIKA TEKNIKER

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

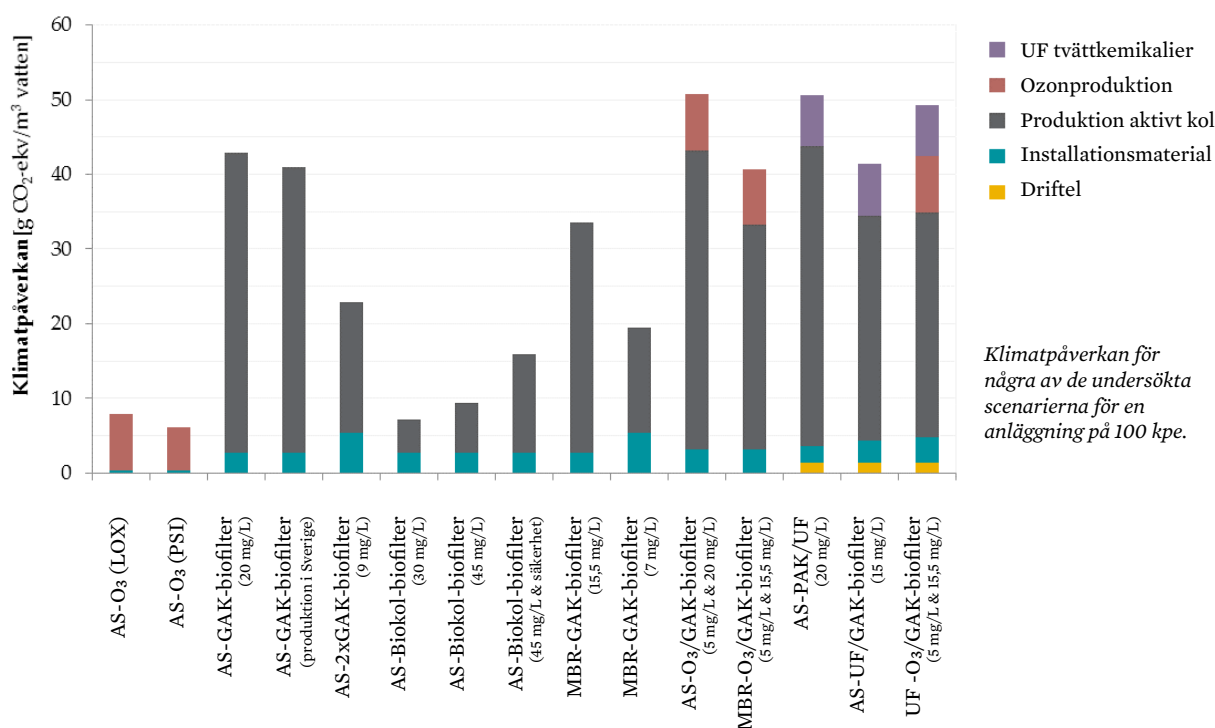
För PAK, GAK, BAF och kombinationer av dessa tekniker är det framförallt produktion och regenerering av aktivt kol som kräver stora energimängder. För ozonering och UF-tekniker är det själva driften som medför en ökad energianvändning. För en kWh-producerad el är klimatpåverkan större vid produktion utanför Norden då energin där produceras med en större andel fossila bränslen. El som förbrukas vid svenska reningsverk eller på svensk mark kan därför anses som mindre miljöpåverkande i jämförelse. En möjlig produktion och regenerering av aktivt kol i Sverige kan således till viss omfattning minska den totala miljöpåverkan av samtliga tekniker där aktivt kol ingår som en beståndsdel. Detta skulle dessutom minska den miljöpåverkan som transportererna till utlandet annars ger. Även en ökad försurnings- och eutrofieringspotential kan framförallt relateras till en ökad energiförbrukning vid en kompletterande rening. Att endast använda nytt aktivt kol utan regenerering skulle innebära en mer än femdubbling av klimatpåverkan från aktivt kol tillverkningen.

Miljöpåverkan av de olika teknikerna kan och kommer att ändras över tid. Generellt leder en förbättrad teknikimplementering och -utveckling till resurseffektivare processer. Energibehovet för membranprocesser har t.ex. stadigt minskat över det senaste decenniet. Även processer som kan stängas ner på reningsverket vid införande av nya kompletterande reningssteg bör tas med i

beräkningen av miljöpåverkan.

Nya tekniker, som användning av biokol tillverkat från reningsverkets eget slam eller från andra substrat, är t.ex. ett alternativ som kan vara mycket fördelaktigt i miljöbedömningen, även om exakta emissioner ännu inte kan kvantifieras då referensanläggningar saknas.

Ekotoxiska effekter på mark och vattensystem är svårare att kvantifiera och exkluderas därför oftast i miljöpåverkanberäkningar. Detta kan påverka bedömningen av behov av reningsåtgärder och av miljönyttan med olika reningstekniker, men det kan även påverka bedömningen av de potentiella negativa effekterna av olika reningstekniker. En annan aspekt är att enstaka substanser kan ha en obefintlig toxisk effekt i miljön men i en blandning med andra substanser så som i avloppsvatten kan toxiciteten öka (cocktaileffekt). Toxiciteten kan även vara kronisk vilket i motsats till akut toxicitet är svårare att upptäcka. Bioackumulering av vissa emissioner kan skapa en toxicitet som först i framtiden genererar en effekt som idag är omöjlig att kvantifiera. Bedömningen av den totala miljöpåverkan och slutsatserna kan alltså påverkas på olika sätt och en miljöpåverkanberäkning (livscykelanalys, LCA) är således endast så bra som den formuleras.



KOSTNADER FÖR OLIKA RENINGSTEKNIKER

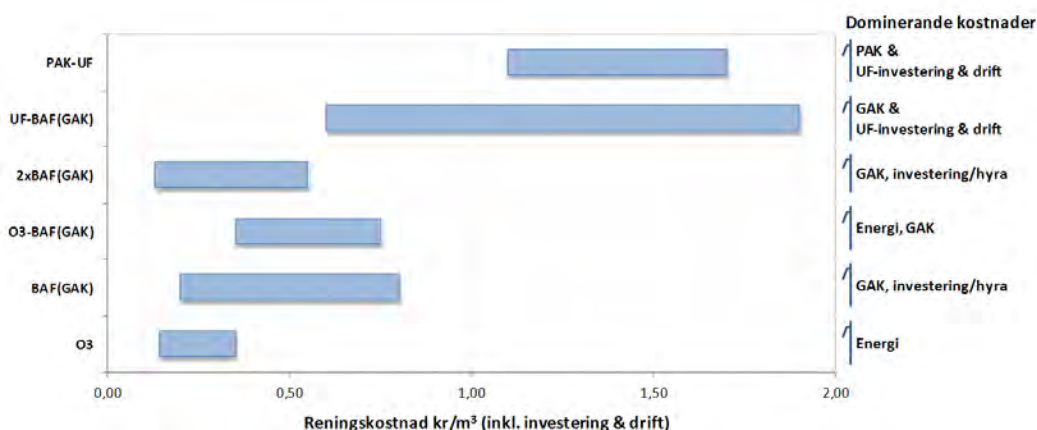
Nedan återges skattade kostnader för installation och drift för de olika reningsteknikerna/kombinationerna baserat på ett dimensioneringsflöde på 150 m³/(pe, år) och en del förenklingar. Beräkningarna och bör endast användas som indikation.

- DOC i avloppsvatten: < 10 mg/L
- Nominal porstorlek UF: < 0,2 µm
- Förbrukning aktivt kol (PAK, GAK, BAF(GAK)): 20 mg/L
- Kontakttid filterbädd (GAK, BAF): >10 min
- Ozondos: ~5 mg O₃/L
- Kontakttid ozonering: ~10 min
- Inköpspris El: 0,80 kr/kWh
- Aktivt kol: ny 20 000 kr/ton; Regenererad 13 000kr/ton
- Flytande oxygen LOX: 1,70 kr/kg
- Personalkostnader: 450 kr/tim

Kostnader för markarbeten och andra byggtekniska anläggningar som betongbassänger och lagringssilos har antagits till 100 % av kostnaden för teknikkomponenterna enligt erfarenheter från teknikleverantörer. Planerings- och ansöknings-/tillstånds-

kostnader har inte inkluderats i beräkningarna. De lägsta kostnaderna i figuren nedan kan uppnås för stora anläggningar (>500 kpe). Högre kostnader uppstår vid mindre anläggningar.

Observera att det antagna vattenflödet som ska behandlas vid olika reningsverksstorlekar inte bara påverkar kostnaderna utan även medför en osäkerhet i jämförelsen av kostnader som rapporteras från andra länder. Vilket flöde som reningen ska avse kan skilja mycket mellan anläggningar. Ifall en kompletterande rening ska kunna rena allt avloppsvatten, alltså 100 % av reningsverkets inflöde, påverkas kostnaderna i större utsträckning än om endast t.ex. 95 % av allt flöde ska kunna behandlas. Detta på grund av att de sista 5 % kan utgöra väldigt höga toppflöden vid extremväder, som kräver extremt stora reningsanläggningar eller utjämningsanläggningar, vilket leder till både högre kostnader och en mindre resurseffektiv drift av reningen.



VILKEN TEKNIK?

Vilken teknislösning som ska väljas är en komplex fråga och kräver en noggrannavvägning kring de olika aspekter som presenteras här samt reningsverkens egna förutsättningar. Tabellen på nästa sida indikerar att en effektiv rening av de flesta mikroföroreningar samtidigt endast kan åstadkommas vid en kombination av olika tekniker. Följande övergripande rekommendation för teknikval kan dock tillämpas som start för olika typ av reningsverk. Tillsammans med ett sunt förnuft och en förståelse om den egna reningsprocessen och olika teknikers miljöpåverkan finns ett bra diskussionsunderlag.

- Reningsverk med en MBR-process bör välja ett biofilter med granulerat aktivt kol som filtermaterial: BAF(GAK).
- Reningsverk med en vanlig aktivslamprocess och mycket

bra N/P/C-rening och låga partikelhalter bör välja en kombination av ozonering och biologiskt filter med granulerat aktivt kol som filtermaterial: O₃-BAF(GAK).

- Reningsverk med en vanlig aktivslamprocess och sämre N/P/C-rening och höga partikelhalter bör välja en integrerad ozonering (O₃) eller en ultrafiltrering med efterföljande biologiskt filter med granulerat aktivt kol som filtermaterial: UF-BAF(GAK).
- Reningsverk med dålig N/P/C-rening bör inte satsa på rening av mikroföroreningar utan att först fokusera på huvudreningen. Ska både en bättre N/P/C och vidaregående rening åstadkommas kan MBR vara ett bra alternativ.

RENINGSEFFEKTER FÖR OLIKA MIKROFÖRORENINGAR

Prioriterade mikroföroreningar och effekter		Reningsteknik/-kombination					
		O ₃ ¹	BAF(GAK)	PAK-UF	O ₃ -BAF(GAK)	UF-BAF(GAK)	
Läkemedelsrester	Azitromycin (antibiotikum)						
	Ciprofloxacin (antibiotikum)						
	Klaritromycin (antibiotikum)		#	#	#	#	
	Diklofenak (smärtstillande)						
	E2 (17β-estradiol) (hormon)				#		
	EE2 (17α-etinylestradiol) (syntetiskt hormon)				#		
	Erytromycin (antibiotikum)		#	#	#	#	
	Ibuprofen (antiinflammatorisk och smärtstillande)						
	Karbamazepin (antidepressiv)						
	Levonorgestrel (syntetiskt hormon)		#	#	#	#	
	Metoprolol (betablockerare, blodtryckssänkande)						
	Oxazepam (ångestdämpande och lugnande)						
	Propranolol (betablockerare, blodtryckssänkande)						
	Sertralin (antidepressiv)						
	Sulfametoxazol (antibiotikum)						
	Trimetoprim (antibiotikum)			#			
	Effekter	Smittrisk (bakterier, patogener)					
		Antibiotika resistens (ARB)					
Östrogena effekter (effekt av hormoner)				#		#	
Övriga mikroföroreningar	Bisfenol A (plastkemikalie, hormonstörande)						
	Cybutryn/Irgarol (Herbucid)		#	#	#	#	
	Dioxiner och PCB (bl.a. i kylvätskor)		#	#	#	#	
	Endotoxiner (giftiga bioaerosoler)		#	#	#	#	
	Ftalater (t.ex. DEHP) (mjukgörare i plastprodukter)						
	Flamskyddsmedel (t.ex. HBCD)						
	Kloralkaner (C10 till C13) (smörjvätskor)		#	#	#	#	
	Linjära alkylsulfonater (LAS) (C10 till C13)		#	#	#	#	
	Nonylfenol (bl.a. tillsats i rengöringsprodukter)						
	Oktylfenol (bl.a. tillsats i rengöringsprodukter)						
	PFAS (inkl. PFOS) (Tensid)						
	Sukralos (sötningsmedel)						
	Terbutryn (Herbucid)		#	#	#	#	
	Tributyltenn (TBT) (Biocid)		#	#	#	#	
	Triklorbensen (lösningsmedel & insekticid)		#	#	#	#	
	Tricklsan (Antiseptikum)						
	Tungmetaller ² (lägre prioritering)		#	#	#	#	
	Mikroplaster 1 μm - 5 mm (lägre prioritering)						
Standard	Fosfor	*					
	Kväve	*					
	Organiskt material COD/BOD	*					
	Partikelhalt						

Reningseffekt

Bra
Medel
Lite
Ingen

Förväntad effekt utifrån substansens egenskaper och teknikens reningsmekanism

¹ För en ozondos på mellan 0,5-1 mg O₃/g DOC

² Förväntad effekt baseras på ett fåtal mätresultat för enstaka metaller och reningsmekanismer

* Kan frigöra hård bunden C, P och N för en efterföljande biologisk nedbrytning