
Bilaga 2
Konsultrapport
En kunskapssammanställning
om mikroplastutsläpp från kommunalt
avloppsvatten i Sverige

Sammanfattning

Hur stora är de totala utsläppen av mikroplast från kommunalt avloppsvatten i Sverige? Sammanställningen föreslår att slam är den enskilt största spridningsvägen av mikroplast från avloppsreningsverk till naturen och att bräddvatten kan orsaka lika stora utsläpp av mikroplast som utgående renat avloppsvatten. I förhållande till de potentiella utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs är utsläppen från avloppsvatten små. Resultaten är behäftade med stora osäkerheter bland annat till följd av bristen på standardiserade analysmetoder och det begränsade antalet analyser.

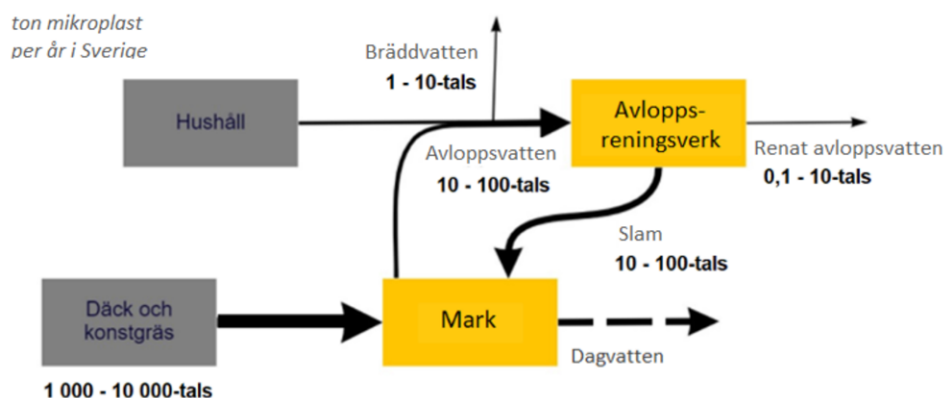
Naturvårdsverket har i uppdrag att fram till årsslutet 2023 fördela bidrag till åtgärder som förbättrar vattenmiljön och har därför via Svenskt Vatten drivit en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk. Denna rapport är en del av beställargruppens arbete under år 2022.

Projektet syftar till att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vattenförekomster och mark med fokus på utsläpp från renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Målet är att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data.

Projektet består av en litteraturstudie samt en kvantitativ analys. Den kvantitativa analysen är baserad på resultat från åtta svenska avloppsreningsverk som analyserat antal mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten samt två till fyra svenska studier som analyserat eller skattat vikt av mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Jämförelser har gjorts med danska och norska studier.

Föreliggande sammanställning visar att uppskattningsvis 1 000-tals miljarder mikroplastpartiklar kan släppas ut med det renade vattnet från svenska avloppsreningsverk årligen, eller uppskattningsvis mellan 0,1 och 10-tals ton per år, se figur nedan. Generellt har de undersökta svenska avloppsreningsverken en hög reduktionsgrad av antal mikroplastpartiklar på ca 99 %. Reduktionsgraden kan dock variera med reningsteknik.

De största transportvägarna av mikroplastpartiklar från avloppsvatten till vattenrecipient är bräddvatten och utgående renat avloppsvatten. Slam är den största transportvägen av mikroplastpartiklar från avloppsreningsverk till naturen. Viktmässigt uppskattas transporten som sker via bräddvatten och utgående renat avloppsvatten utgöra enstaka procent av utsläppen som sker via slam, som vidare utgör enstaka procent av de uppskattade utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs, se figur nedan.



Massflödesdiagram med storleksordningar på mikroplastströmmar i ton per år i Sverige. Grå boxar är källor till mikroplastutsläpp, orange boxar och svarta pilar är transportvägar respektive flöden. Bräddvatten, Renat avloppsvatten och Dagvatten går till recipient. Siffrorna baseras på skattningar av Magnusson m.fl. (2016) samt analyser på partikelstorlek 10–500 µm respektive 42–5 000 µm av Andersson & Bäckbom (2022), Tumlin & Bertholds (2020) och Jordnära miljökonsult AB (2020).

Variation i analyserade storleksintervall och analysmetoder såväl som det begränsade antalet analyser medför stor osäkerhet i analysresultaten som presenteras i förekommande rapport. I enighet med de flesta studier inom området belyser förekommande sammanställning behovet av standardiserade analysmetoder, fler viktbaserade analyser, större analysintervall med avseende på partikelstorlek, bättre metoder för analys av slam samt fler studier där ett större antal prov per studie analyseras för att kvantifiera mängden mikroplast från renat avloppsvatten, slam och bräddvatten.

Innehåll

Sammanfattning	39
1 Inledning	42
1.1 Syfte och mål	42
1.2 Avgränsningar.....	42
1.3 Mikroplast: definition, källor och transportvägar.....	42
2 Metod	44
2.1 Litteraturstudie	44
2.2 Kvantitativ analys	44
2.3 Partikelvikt.....	45
2.4 Felkällor.....	46
3 Resultat och diskussion	47
3.1 Mikroplast vid kommunal avloppsvattenrening	47
3.2 Analysmetoder.....	49
3.3 Antal mikroplastpartiklar	51
3.4 Viktanalys.....	53
3.5 Avloppsreningsverk som transportväg av mikroplast	54
4 Slutsatser	56
Referenser	57

1 Inledning

Mikroplast återfinns i havs-, sötvatten- och markekosystem men påträffas även i livsmedel och dricksvatten (ECHA, n.d.). Det uppskattas att det idag finns mer än 150 miljoner ton plast i världens hav, som varje år antas öka med mellan 5 och 13 miljoner ton (Naturvårdsverket, 2022). Plast som hamnar i naturen fragmenteras långsamt till mikroplaster. När beståndsdelarna blivit så små finns inga rimliga metoder för att avlägsna dessa från miljön och lösningen blir därför att i stället förhindra och/eller minska tillförseln av plaster till miljön. För att uppnå detta behövs ökad kunskap och förståelse för mikroplasternas källor och transportvägar, och många aktörer måste samarbeta för att förhindra uppkomst och spridning av mikroplaster (Naturvårdsverket, 2022).

Vattenmiljön är mycket känsligare mot föroreningar än markmiljön. Till stor del beror detta på att jord har en högre biodiversitet, vilket ger en större motståndskraft mot föroreningar. Vidare är vatten även en mycket effektivare spridningsväg av mikroplastpartiklar än mark. Det är därför extra viktigt att samla och utveckla kunskap om spridning och tillförsel av mikroplaster till våra vattendrag, sjöar och hav.

Naturvårdsverket har i uppdrag att fram till slutet av 2023 fördela bidrag till åtgärder som förbättrar vattenmiljön. Inom detta uppdrag har Naturvårdsverket via Svenskt Vatten sedan år 2018 drivit en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk. Denna rapport är en del av beställargruppens arbete under år 2022.

1.1 Syfte och mål

Projektet syftar till att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vatten och mark. Tre fokusområden har valts ut: utsläpp från (1) renat avloppsvatten, (2) bräddvatten samt (3) slam. Målet är att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data. Projektet består av två delar: en litteraturstudie samt en kvantitativ analys.

1.2 Avgränsningar

Huvudfokus är Sverige men för jämförelse har även studier från Danmark och Norge inkluderats. Projektet avgränsas därför till nordiska studier och avloppsreningsverk. Denna studie omfattar en sammanfattning av befintliga studier och inga nya analyser har utförts. Bedömning av mikroplasters skada för miljön vid utsläpp i naturen har inte inkluderats.

1.3 Mikroplast: definition, källor och transportvägar

Europeiska kemikaliemyndigheten (ECHA) definierar mikroplaster som ett samlingsnamn för fasta partiklar av plast och gummi upp till 5 mm (ECHA, n.d.). Den undre gränsen av storleksintervallet kan variera. Naturvårdsverket har satt en undre gräns till 1 nm och inkluderar även bionedbrytbara plaster i sin definition (Naturvårdsverket, 2019). Flera av de studier som beaktas i denna sammanställning har angivit 1–2 μm som en undre gräns men poängterar samtidigt att de minsta partiklarna oftast inte inkluderas i analyserna (Magnusson m.fl., 2016; Tumlin & Bertholds, 2020). Några studier

har använt benämningen mikroskräp, vilket är ett bredare begrepp (Baresel m.fl., 2021; Magnusson, 2014; Närhi m.fl., 2021). Mikroplast omfattar endast syntetiskt antropogent mikroskräp och exkluderar därmed exempelvis textilfibrer. Vissa studier har inte givit någon specifik definition förutom att det är mikroplastpartiklar som studeras.

Mikroplaster kan förekomma i flera olika former såsom korn, flagor och fibrer. Dessa kan vara avsiktligt tillverkade för att tillsättas som en funktionell beståndsdel till produkter och kallas då primära mikroplaster men kan också bildas oavsiktligt från större plastprodukter via slitage och fragmentering och kallas då sekundära mikroplaster (ECHA, n.d.; Naturvårdsverket, 2019).

I miljön kan mikroplaster fragmenteras till allt mindre delar som finns kvar i århundraden (ECHA, n.d.), och de är dessutom olösliga i vatten. Idag finns stora kunskapsluckor om hur människors hälsa och miljön påverkas av mikroplast och huruvida olika storleksfraktioner av mikroplaster påverkar i olika grad. Indikationerna är i dagsläget att större partiklar har färre negativa effekter än mindre partiklar (Naturvårdsverket, 2019).

För att hantera mikroplaster i miljön på ett effektivt sätt är det viktigt att göra skillnad på källor och transportvägar. Källorna är där mikroplasterna har sitt ursprung, medan transportvägarna är hur mikroplasterna sprids i naturen. Naturvårdsverket (2017) har identifierat viktiga källor till utsläpp av mikroplaster:

- Industriell produktion och hantering av primärplaster
- Slitage av däck från vägar
- Konstgräsplaner
- Textiltvätt
- Båtbottenfärg
- Nedskräpning

Naturvårdsverket har även identifierat de huvudsakliga transportvägarna för spridning av mikroplaster (2019):

- Dagvatten
- Luft
- Avloppsvatten och slam

2 Metod

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien ämnar ge en bakgrund till mikroplaster i kommunalt avloppsvatten samt komplettera den kvantitativa analysen i syfte att kunna besvara frågor kring osäkerhet, relevans och orsakssamband. Litteraturstudien såväl som den kvantitativa analysen har sin bas i referenser som är inhämtade från projektets referensgrupp. Referensgruppen består av representanter från Gryaab, Käppalaförbundet och Uppsala Vatten. Referensgruppen har tillhandahållit studier de själva varit involverade i men även studier från andra VA-aktörer och forskare. Projektet har även stöd av experter från IVL Svenska Miljöinstitutet (Christian Baresel och Mikael Olshammar) och Sweco (Gisela Holm och Sofia Andersson). Litteraturstudien inkluderar också material hämtat från olika vetenskapliga databaser såsom Scopus, där de primära sökorden varit: mikroplast, avloppsreningsverk, transportvägar och källor. Utöver detta har information inhämtats från myndigheter och organisationer såsom Naturvårdsverket, Svenskt Vatten och Europeiska Kemikaliemyndigheten (ECHA).

2.2 Kvantitativ analys

Den kvantitativa analysen baseras på resultat från (i) åtta svenska avloppsreningsverk som har analyserat antal mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten, (ii) fyra svenska studier som undersökt vikt mikroplast i inkommande och utgående renat avloppsvatten, (iii) tre svenska studier som undersökt vikt mikroplast i slam samt (iv) två svenska studier som undersökt vikt mikroplast i bräddvatten, se Tabell 2.1. För jämförelse används även två nordiska studier inkluderande flera avloppsreningsverk. Den lägre rapporteringsgränsen för mikroplaster varierar mellan 10 µm och 50 µm. Antal provtagningsstillfällen i varje studie är få, endast 1–3, vilket medför stor osäkerhet i analysresultaten. Provtagningsmetoderna varierar mellan och inom studierna, där stick-, dygns-, vecko- och blandprov förekommer. Ytterligare aspekter som försvårar jämförelse av resultat är att proverna är tagna under olika år och olika årstider. Icke-syntetiska fibrer har inte inkluderats i sammanställningen.

Värt att notera är att flera av referenserna (Baresel m.fl., 2020, 2021; Habagil m.fl., 2019; Närhi m.fl., 2021) anger antal partiklar som återfinns inom storleksintervallen >50 µm, >100 µm samt >300 µm. Vad som egentligen avses i just dessa studier är storleksintervallen 50–100 µm, 100–300 µm respektive 300–5 000 µm. I t.ex. studien från Magnusson (2014) gäller dock att partiklarna >300 µm ingår som en del av gruppen partiklar >20 µm. För att undvika förvirring har förekommande studie genomgående angivit intervall inkluderande lägsta och högsta detektionsgräns.

Mikroplastutsläpp från däck och konstgräs uppskattas i Naturvårdsverkets nationella skattning (Magnusson m.fl., 2016). Mängden mikroplast i bräddvatten från avloppsledningsnätet uppskattas nationellt i Naturvårdsverkets studie samt lokalt i studien vid Ryaverket i Göteborg (Magnusson m.fl., 2016; Tumlin & Bertholds, 2020). I Naturvårdsverkets nationella skattning ingår även bräddning vid avloppsreningsverk med efterföljande partiell rening.

Resultaten från den kvantitativa analysen presenteras i två enheter: antal (partiklar per liter) eller vikt (ton per år) i inkommande och utgående renat avloppsvatten samt i bräddvatten och slam. I förekommande studie har vikt i mikrogram per liter omräknats till totala utsläpp i Sverige i ton per år genom antagandet att 1,5 miljarder m³ avloppsvatten renas per år i Sverige (Svenskt Vatten AB, 2022).

Studier/ avloppsreningsverk	n	Plats	d (µm)	Metod	p.e.	Vikt/ antal	Huvudsaklig reningsprocess	Medium	Provtagning
Ryaverket (Tumlin & Bertholds, 2020)	1	Göteborg	10–500	FTIR	971 000	V+A	AS+MBBR+ skivfilter	AV + slam + brädd	Dygns-/bland-/ stickprov
Käppalaverket (Andreasson & Bäckbom, 2022)	1	Lidingö	10–500	FTIR	557 000	V+A	AS+sandfilter	AV + slam	Vecko-/bland-/ stickprov
Sjölundaverket* (Tumlin & Bertholds, 2020)	1	Malmö	10–500	FTIR	354 000	V+A	AS+flotation	AV + slam	Dygns-/bland-/ årsprov
Getteröverket (Baresel m.fl., 2021)	2	Varberg	50–5 000	SM	56 700	A	AS+flockning	AV	Veckoprov
Ullared ARV (Habagil m.fl., 2019)	3	Falkenberg	50–5 000	SM	7 400	A	AS+damm/ +trumfilter+ozon	AV	Veckoprov
Henriksdal ARV (Närhi m.fl., 2021)	1	Stockholm	50–5 000	SM	850 000	A	AS+sandfilter	AV	Veckoprov
MBR-pilot Henriksdal (Närhi m.fl., 2021)	1	Stockholm	50–5 000	SM	Pilot	A	AS+MBR	AV	Veckoprov
Himmerfjärdsverket (Baresel m.fl., 2020)	1	Botkyrka	50–5 000	SM	245 000	A	AS+sandfilter	AV	Blandprov
Lidköpings ARV (Jordnära miljökon- sult AB 2020)	1	Lidköping	42–5 000	Py- GCMS	45 000	V	AS+flotation	AV	Dygnsprov
Naturvårdsverket nationell skattning Sverige (Magnusson m.fl., 2016)	-	-	-	Härlett från källor**	10 miljoner	V	Ej applicerbart	AV + slam + brädd	-
Danmark 10 ARV (Simon m.fl., 2018)	-	-	10–500	FTIR	-	V+A	AS/+sandfilter	AV	Dygnsprov
Norge 3 ARV (Magnusson, 2014)	-	-	20-5 000	SM	970 000	A	AS/enbart kemisk rening	AV	Bland-/ dygnsprov

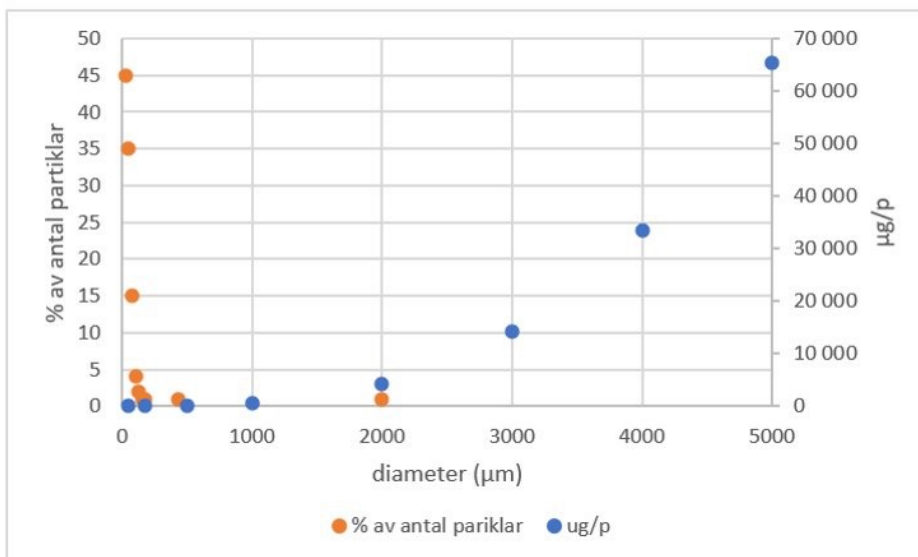
*inkommande vatten analyserades efter 3 mm galler **hygienartiklar, hushållsdamm och tvätt

2.3 Partikelvikt

De flesta plastpolymerer har en densitet på mellan 0,8 och 1,5 g/cm³ (Lange m.fl., 2021). För mikroplastpartiklar i storleksordningen 10–500 µm (diameter) uppskattas genomsnittstorleken vara 40–50 µm, motsvarande 0,02–0,04 µg/partikel (DEPA, 2017). För intervallet 20–5 000 µm använde Baresel & Olshammar (2019) 6,6 µg som partikelvikt. Figur 2.1 visar hur vikten av en sfärisk mikroplastpartikel med densitet 1 g/cm³ påverkas av dess diameter samt hur storleksfördelningen (partikelstorlek 25–5 000 µm) kan se ut för inkommande vatten till ett avloppsreningsverk (Williams m.fl., 2020). Figuren illustrerar hur förekomst av enstaka större partiklar kan ha stor inverkan på den totala vikten. Eftersom viktfordelningen framför allt i det högre intervallet är förknippad med stora osäkerheter har förekommande studie inte konverterat antal partiklar till viktdata. Däremot har några av de inkluderade studierna använt analysmetoden FTIR för en mer noggrann beräkning av massan.

Tabell 2.1.

Urval av mikroplaststudier. ARV=avloppsreningsverk, AV=avloppsvatten (in-
kommande till och utgå-
ende från ARV), AS=ak-
tivslamprocess, V=vikt,
A=antal, n=antal provtag-
ningstillfällen, p.e.=perso-
nekvivalenter, d=partikeldi-
ameter. SM=
stereomikroskopi, FTIR=
µFourier transform infraröd
spektroskopi, Py-GCMS=-
masspektrometri med fö-
regående pyrolys, MBBR=-
moving bed biofilm reactor,
MBR=membrane bio-
reactor. Blandprov avser
blandning av delprov där
tidsperiod inte angivits som
dygn eller vecka.



Figur 2.1
Beräknad partikelvikt (µg/p) baserad på diametern hos en mikroplastpartikel vid antagen sfärisk form och densitet på 1 g/cm³ samt procentuell andel mikroplastpartiklar i inkommande avloppsvatten till ett avloppsreningsverk baserat på analyser av Williams m. fl. (2020).

2.4 Felkällor

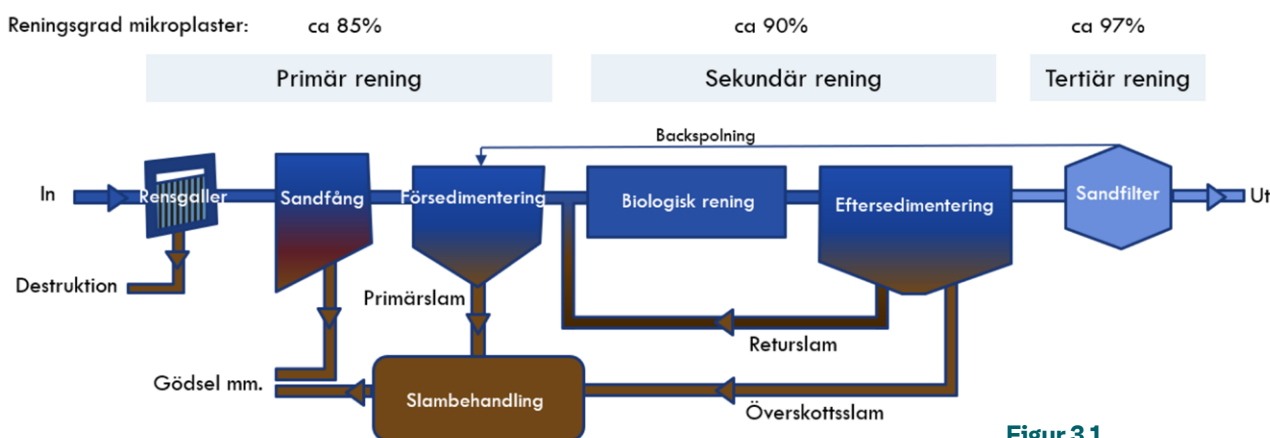
Eftersom relativt få studier är utförda på mikroplastutsläpp från svenskt avloppsvatten samt att de få studier som finns oftast redovisar enstaka provtagningar med olika provtagningsmetoder kan felaktiga resultat få stort utslag i förekommande studie. Mängd mikroplast som detekteras varierar med uppberetningsmetod, analysmetod, partikelstorlek som analyserats, provvolym, tid, flöde och plats. Att få ett representativt värde på mängden mikroplast från avloppsvatten samt att uppskatta motsvarande värden för hela Sverige är därmed betingat med stora osäkerheter.

3 Resultat och diskussion

3.1 Mikroplast vid kommunal avloppsvattenrening

Fungerande avloppssystem är en förutsättning för god hälsa och miljö. Avloppssystemens uppgift är att leda bort och rena avloppsvatten på ett effektivt sätt. Systemen består av spillvattenförande ledningsnät, avloppsreningsverk och slamhantering. I Sverige finns totalt 1 200–1 300 avloppsreningsverk och ca 101 000 km avloppsrör (Svenskt Vatten AB, 2022). Kommunala avloppsreningsverk tar emot spillvatten men ibland även dagvatten och dräneringsvatten (tillskottsvatten) när det inte finns separata system för dessa. Tillförsel av mikroplast till avloppsreningsverk kan ske via båda dessa transportvägar, där dagvatten bedöms kunna innehålla mer mikroplast än spillvatten (Baresel & Olshammar, 2019). Hur stor andel av den totala tillförseln av orenat vatten till avloppsreningsverk som kommer från tillskottsvatten varierar, enligt Clementson m.fl. (2020) med mellan 20–70 %.

Vid rening av kommunalt avloppsvatten kan primär, sekundär och tertiär rening tillämpas baserat på mekaniska, kemiska och biologiska reningssteg (Figur 3.1). På senare år har även så kallad avancerad rening av avloppsvatten blivit aktuellt, exempelvis i form av granulerat aktivt kol eller ozonering för reduktion av mikroförureningar. Reduktionen av mikroplaster i olika reningssteg styrs främst av mikroplastpartiklarnas storlek, densitet, textur och laddning (Baresel m.fl., 2017). Reningsverk har i regel god avskiljning av mikroplast (Baresel & Olshammar, 2019). I reningsverkets olika steg kan mikroplast avskiljas till rens och destrueras, men det kan även avskiljas till slam varifrån det kan spridas i miljön. Alternativt kan mikroplasterna fragmenteras till mindre partiklar som inte kan detekteras i utgående renat avloppsvatten men som fortfarande kan utgöra en risk för miljö och hälsa.



Figur 3.1

Exempelkonfiguration av ett avloppsreningsverk. Den potentiella reningsgraden av mikroplast är ca 85 % över primär rening, ca 90 % över sekundär rening och ca 97 % över tertiär rening beträffande avloppsreningsverk i Östersjöområdet (Baresel & Olshammar, 2019).

Den primära reningen (grovrening och försedimentering) är oftast av mekanisk karaktär och utgörs av rensgaller, sandfång och försedimentering. Renset från gallren går vanligtvis till förbränning vilket innebär att mikroplaster som avskiljs i detta reningssteg destrueras och inte längre kan spridas till miljön. Gallrens effektivitet är bland annat beroende av styrningen av gallren då rensattan är viktig för avskiljningen av mikroplast. Rensgaller kan följas av ett sandfång samt försedimentering alternativt filtrering för att avlägsna sand, grus och andra större partiklar. Hur effektiva dessa steg är på att avskilja mikroplast beror på mikroplastpartiklarnas egenskaper men är även bland annat kopplat till genomsläppligheten hos filter samt ytbelastning vid sedimentering. Efter primär rening kan ca 85 % av mikroplastpartiklarna ha avlägsnats från vattenfasen, se Figur 3.1.

Sekundär rening kan avlägsna ytterligare ca 90 % av mikroplastpartiklarna beträffande avloppsreningsverk i Östersjöregionen (Baresel & Olshammar, 2019). Den sekundära reningen innefattar oftast biologisk rening som avlägsnar främst organiskt material genom mikrobiologisk aktivitet från bakterier och protozoer. Majoriteten av det svenska avloppsvattnet genomgår biologisk rening (SCB, 2018). Det biologiska reningssteget kan vara utformat på flera olika sätt. Det vanligaste är aktivslam där slamflockar med de verksamma mikroorganismerna hålls suspenderade i avloppsvattnet genom mekanisk omrörning eller luftning. Aktivslamprocesser kan utformas på olika sätt, där internflöden av nitrat och slam ser olika ut och kan påverka hur mikroplaster flödar och recirkuleras genom avloppsreningsverket. Mikroplast avskiljs i dessa processer genom att fastläggas i slammet, som delvis recirkuleras i reningssteget men även tas ut som överskottslam för vidare, separat, hantering. Det aktiva slammet avskiljs vanligen via eftersedimentering. En annan möjlig metod är membranteknik, vilket t.ex. inkluderar separata ultrafilter (UF) och filter integrerade i en membranbioreaktor (MBR). När MBR används går inga partiklar större än porstorleken, som vanligtvis är 0,1–0,04 µm (Andersson m.fl., 2021), igenom. Detta är minst 100 gånger mindre än den lägsta detektionsgränsen för mikroplastpartiklar (10 µm) i förekommande studie. Tekniken avskiljer därmed alla mikroplastpartiklar över 10 µm. Membranen är dock tillverkade av plast och kan därför teoretiskt tillföra mikroplast till avloppsströmmen (Gan m.fl., 2021).

En annan typ av biologisk rening är biofilmsystem, där de verksamma mikroorganismerna i stället växer som en biofilm på en yta. Ytan kan utgöras av exempelvis bärare eller bäddar. Bärare i en så kallad MBBR-process (moving bed biofilm reactor) består ofta av plast och utsätts för slitage när de rörs runt i bassängen, vilket kan medföra att mikroplastpartiklar bildas. Även denna typ av process fastlägger mikroplaster i slammet.

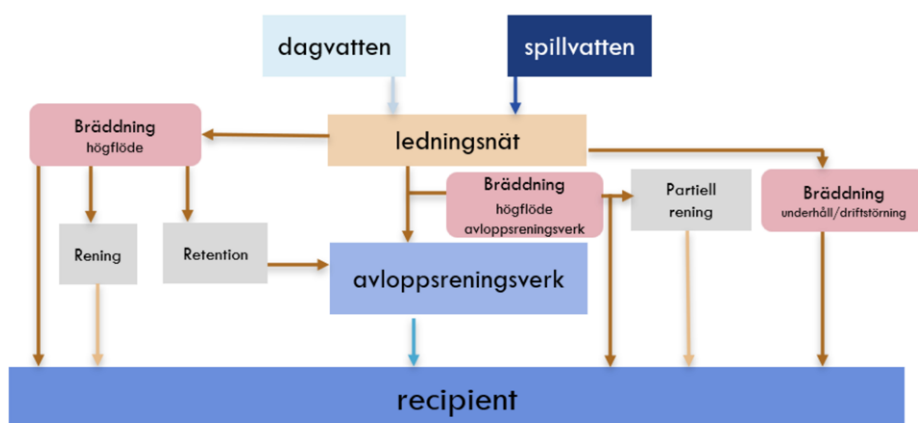
Tertiär rening avlägsnade ytterligare ca 97 % av mikroplasterna från avloppsvattnet i Östersjöregionen, se Figur 3.1. Sandfilter är en vanlig metod för tertiär behandling. Metoden är en blandning av mekanisk och biologisk rening och kan därför avskilja mikroplaster på flera sätt. Filtret kan mekaniskt sila bort partiklarna från huvudströmmen, men partiklarna kan också fastläggas i biohuden som bildas. Precis som membran behöver sandfilter backspolas, vilket återför mikroplasterna till avloppsvattnet i ett tidigare steg i processen. Slutligen hamnar mikroplastpartiklarna i slammet.

Slam bildas som en restprodukt från den primära och sekundära reningen. Slam har en god förmåga att avlägsna mikroplaster från vattenfasen genom att binda partiklarna. Slamhanteringen har därmed stor inverkan på vad som händer med mikroplasterna och utgör den största transportvägen av mikroplast från avloppsvatten till miljön. Slam sprids i naturen framför allt via användandet av slam som gödselmedel på åkermark, som anläggningsjord eller som deponitäckning. Hur mikroplast sprids eller sönderdelas i jorden är ännu inte helt klarlagt (Ljung m.fl., 2018) men studier pågår. Idag finns inga effektiva metoder för att avskilja mikroplast från slam. Termisk behandling av slammet kan däremot förstöra mikroplasterna samtidigt som slammet omvandlas till aska eller kol (Bhasin m.fl., 2020). Till skillnad från vissa andra europeiska länder är termisk behandling av slam ovanligt i Sverige.

Bräddning innebär att obehandlat avloppsvatten släpps ut till följd av höga vattenflöden, underhåll eller driftstörningar. Bräddning kan ske på ledningsnät eller vid avloppsreningsverk vilket i det senare fallet ibland inkluderar partiell rening såsom primär rening eller höglödesrening, se Figur 3.2. Enstaka procent av det avloppsvatten som inkommer till avloppsreningsverk i Sverige bräddas (Wennberg m.fl., 2017). Majoriteten (>80 %) uppskattas bräddas vid höglöde, varav ca 20 % bedöms genomgå partiell rening på avloppsreningsverk (Baresel & Olshammar, 2019). Tillförseln av dagvatten i samband med höglöde bedöms vidare höja mikroplastkoncentrationen i vattenströmmen, t.ex. på grund av extra avrinning från fasta ytor i urban miljö (Baresel & Olshammar, 2019). Avloppsreningsverk är nästan alltid dimensionerade så att primärreningen ska kunna hantera fyra gånger högre flöden än det dimensionerade flödet och den biologiska

reningen ofta två gånger högre flöden. Detta medför att förbiledning ofta sker efter primärreningen (innan biologin) och avloppsvattnet har då genomgått grövre filtrering och/eller sedimentering, vilket kan avlägsna en stor del av mikroplasterna. När bräddning däremot sker vid inloppet eller i ledningsnätet är det bräddade avloppsvattnet helt orenat från mikroplaster.

Vissa avloppsreningsverk har högflödesrening som kopplas in när belastningen till avloppsreningsverket är för hög, för att undvika att brädda orenat avloppsvatten. Då leds ofta en delström av det inkommande vattnet till ett reningssteg utanför huvudströmmen för att avlasta en del av reningsprocessen. En högflödesrening kan exempelvis vara en våtmark, mekaniska filter, kemfällning med sedimentering eller flotationsteknik, vilket kan avskilja en stor del av mikroplasterna. På avloppsreningsverk går bräddat avloppsvatten oftast till utloppsledningen. Bräddat avloppsvatten på ledningsnät rinner oftast ut i närmaste recipient men kan också läcka ut i marken.



Figur 3.2

Bräddning utgörs av (1) bräddning på ledningsnät vid högflöde, (2) bräddning på ledningsnät vid underhåll eller driftstörning samt (3) bräddning vid avloppsreningsverk vid högflöde, vilket ibland inkluderar partiell rening (förbiledning med primär rening eller högflödesrening). Efter Baresel & Olshammar (2020).

3.2 Analysmetoder

Tabell 3.1 nedan sammanfattar egenskaper för olika existerande analysmetoder. Det finns ännu inga standardiserade metoder för analys av mikroplaster. Metoderna är fortfarande under utveckling. Med anledning av detta är analyserna dyra att utföra och medför ofta stora osäkerheter, vilket leder till att data ibland är knapphändig och svårtolkad.

Samtliga metoder i Tabell 3.1 fungerar även vid slamanalyser men på grund av den höga halten organiskt material blir upparbetning av provet svårare. I en studie av von Friesen m.fl. (2019) har den upparbetning som fungerat bäst varit en kombination av enzymatisk metod och kaliumhydroxid. För slam är det särskilt svårt att få ett representativt analysresultat eftersom slam är en komplex och heterogen matris samt att lika stora mängder prov inte kan bearbetas som vid analys av vatten.

	Mikroskopiska metoder	Mikrospektroskopiska metoder			Gaskromatografiska metoder och masspektroskopi (GC/MS)	
	Ljuskopiering (t.ex. SM) ^a	SEM-EDX ^b	μ-FTIR ^c	Raman	Pyrolys-GC/MS	TED-GC/MS ^d
Tid för analys inkl. provberedning	Timmar – dagar	Timmar	Dagar – veckor	Timmar – dagar	Dagar – veckor	Timmar
Detektionsgräns	20–100 μg	10 μg	20 μg	1–10 μg	<1 μg ^e	0,5–2,5 μg
Provberedning	Filter	Filter	Specialfilter	Filter	Isolerade partiklar (vial)	Filtrat eller material i deglar
Polymertyp	Nej	Nej	Ja (svårt)	Ja (svårt)	Ja	Ja
Utseende på partikelyta	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej
Nedbrytningsgrad	Nej	Nej	Nej	Yt-oxidering	Oxidering	Nej
Partikelantal, storlek, form, morfologi	Ja, genom okulär bedömning	Ja, antal	Ja	Ja	Nej	Nej
Massbalans (ej uppskattad eller beräknad)	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja

^a Stereomikroskop

^b Svepelektron-mikroskopi med röntgen-detektor

^c μFourier transform infraröd spektroskopi

^d Termisk extraktions- och desorptions-GC/MS

^e Utveckling pågår som kan sänka detektionsgränsen

Tabell 3.1

Översikt av analysmetoder för mikroplast (Andersson-Sköld m.fl., 2020).

3.2.1 Stereomikroskop (SM)

Stereomikroskop (SM) är en av de vanligaste metoderna för analys av mikroplaster i avloppsvatten i Norden. Analysmetoden innebär att provet först filtreras genom ett eller flera filter. I en studie av Närhi m.fl. (2021) utfördes filtreringen i tre steg, först med ett filter med maskstorlek 300 μm, sedan 100 μm och sist 50 μm. Materialet som fastnat på respektive filter analyseras sedan med ett stereomikroskop (i detta fall med 7,5–135 gånger förstoring). Mikroplastpartiklarna räknas och delas in i grupper beroende på deras form: plastfragment eller plastfibrer. Proverna kan också behandlas med kaliumhydroxid (KOH) innan analys för att minska mängden organiskt material (Närhi m.fl., 2021). Denna metod kan också behöva kombineras med enzymatisk nedbrytning (von Friesen m.fl., 2019).

3.2.2 Fourier transform infraröd spektroskopi (FTIR)

En annan vanlig analysmetod är Fourier transform infraröd spektroskopi (FTIR). Denna metod finns i olika varianter (såsom Attenuated Total Reflected (ATR)-FTIR och μFTIR-spektroskopi) som med fördel kan användas på olika storleksintervall av partiklar. ATR-FTIR fungerar exempelvis bättre för intervallet 500–5 000 μm och μFTIR-spektroskopi fungerar bättre för den mindre fraktionen (10–500 μm).

Följande exempel gäller μFTIR-imaging som använts i bland annat studien av Tumlin & Bertholds (2020). Innan analys måste provet förbehandlas, vilket kan ske på olika sätt beroende på vilken matris som ska analyseras. Förbehandling används för att ta bort sådant material som inte är relevant för analysen och för att koncentrera det som ska analyseras. När provet förbehandlats placeras det på bärarmaterialet och belyses med IR-ljus. IR-ljuset som transmittas eller reflekteras analyseras sedan och ger upphov till ett antal spektra som är karaktäristiska för en viss partikels kemiska sammansättning. Metoden beskrivs i mer ingående detalj i Ljung m.fl. (2018).

Metoden ger i första hand resultat i antal partiklar men kan även ge en beräknad massa som är noggrannare än om massan skulle beräknas med SM. Partiklarnas form och egenskaper fångas upp av μFTIR-imaging och kan därför ge ett bättre resultat.

3.2.3 Gaskromatografi/masspektroskopi (GC/MS)

Till skillnad från tidigare nämnda analysmetoder ger gaskromatografi/masspektroskopi (GC/MS) resultat i vikt (utan beräkningar eller uppskattningar) och kan därför ses som en lämplig metod att använda i avloppssammanhang då den kan användas för att utvärdera avskiljning i reningssteg genom massbalans. Termisk extraktions- och desorptions- (TED) GC/MS kan dessutom hantera större provvolym och analysförloppet är snabbt. I nuläget erbjuder inga kommersiella aktörer i Sverige denna analys men Eurofins erbjuder pyrolys GC/MS för avloppsvatten via sin norska verksamhet i Bergen (Eurofins, 2022).

Båda metoderna går ut på att specifika nedbrytningsprodukter identifieras som markörer för olika polymerer som sedan kvantifieras. Skillnaden är att pyrolys GC/MS snabbt upphettar provet till en temperatur där provet bryts ner till enskilda molekyler som sedan separeras med gaskromatografi, medan TED GC/MS upphettar provet stegvis i en separat enhet och bildar ångor med nedbrytningsprodukter som koncentreras på en sorbent och injiceras i det gaskromatografiska systemet genom termisk desorption. Skillnaden i metoderna medför att pyrolys GC/MS inte kan analysera lika stora provmängder och kräver mer noggrann provberedning (Andersson-Sköld m.fl., 2020).

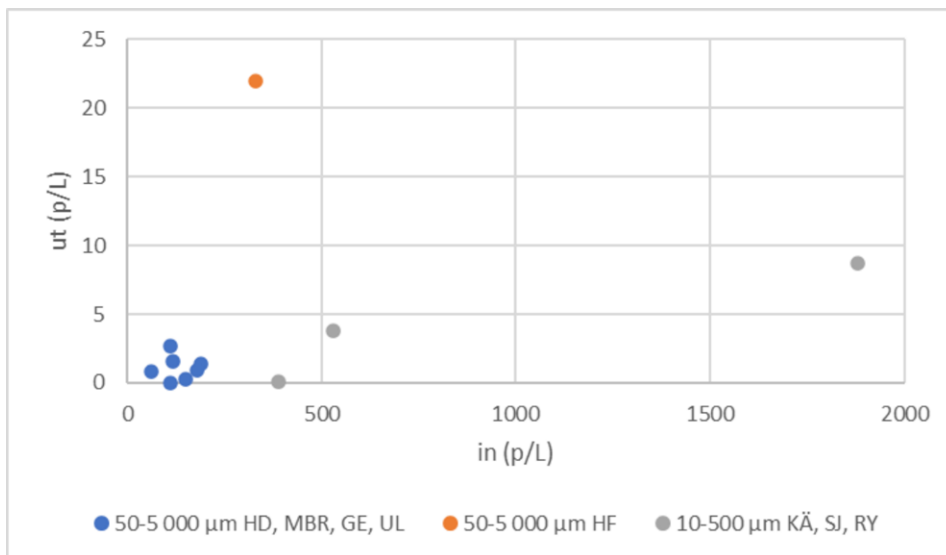
Både TED GC/MS och pyrolys GC/MS är dock förstörande metoder. Är det även önskvärt att veta vilken typ av partiklar (t.ex. fibrer) eller antal partiklar som förekommer i avloppsvattnet krävs optiska metoder såsom SEM, μ FTIR eller stereomikroskopering som beskrivits ovan. Valet av analysmetod beror därför i hög utsträckning på vilken frågeställning som ska besvaras. De undersökta studierna som sammanställs i denna rapport är utförda med FTIR, SM eller GC/MS och därmed presenteras inte övriga analysmetoder i Tabell 3.1 närmare här.

3.3 Antal mikroplastpartiklar

Kvantitativa resultat från de undersökta studierna påvisar stor variation i mikroplastinnehåll i inkommande avloppsvatten till svenska avloppsreningsverk. En uppdelning på analysintervall (Figur 3.3) visar att i medeltal ca sex gånger fler mikroplastpartiklar detekteras i inkommande avloppsvatten vid lägre analysintervall (10–500 μ m) än inom det högre analysintervallet (50–5 000 μ m).

Inom det högre analysintervallet (50–5 000 μ m) avviker Himmerfjärdsverket från övriga resultat med höga antal inkommande och utgående mikroplastpartiklar. Om det höga antalet inkommande mikroplastpartiklar är plats- eller tidsberoende går inte att avgöra från befintligt dataunderlag. De höga utgående halterna av mikroplastpartiklar från Himmerfjärdsverket är delvis ett resultat av lägre retention genom avloppsreningsverket (93 %) jämfört med övriga undersökta avloppsreningsverk.

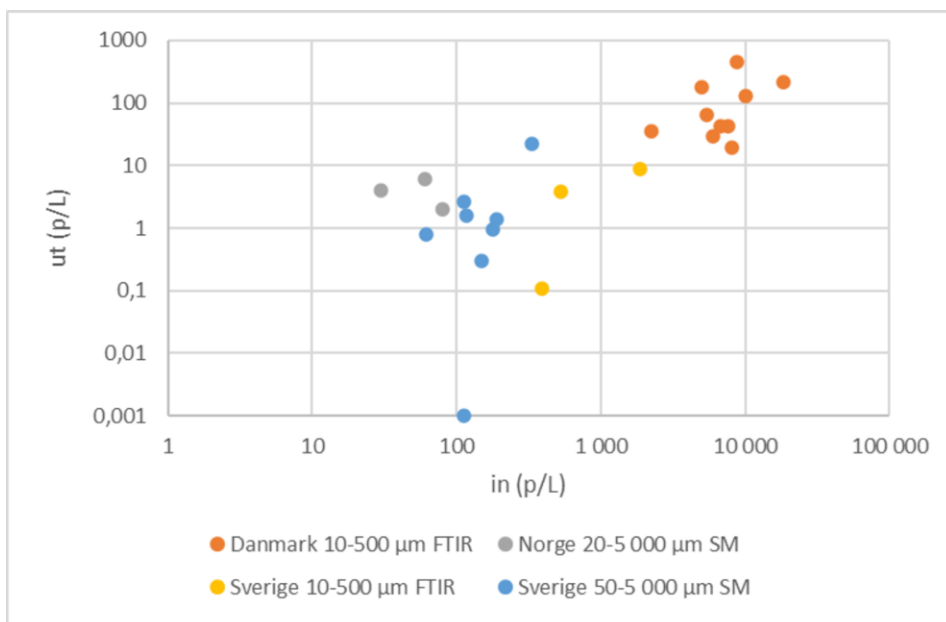
Övriga undersökta svenska avloppsreningsverk har en retention på mellan 98 % och 100 %, där bland annat membranteknik uppvisar så gott som 100 % retention av mikroplastpartiklar. Utgående vatten från de undersökta avloppsreningsverken innehåller mellan ca noll och drygt 20 partiklar per liter. Det motsvarar i medeltal 1 000-tals miljarder partiklar per år från svenska avloppsreningsverk.



Figur 3.3

Antal mikroplastpartiklar per liter (p/L) i inkommande och utgående renat avloppsvatten med detektionsgräns 10 µm och 50 µm i Henriksdals avloppsreningsverk (HD), MBR-pilot Henriksdal (MBR), Getteröverket (GE), Ullareds avloppsreningsverk (UL), Himmerfjärdsverket (HF), Käppala avloppsreningsverk (KÄ), Sjölunda avloppsreningsverk (SJ) och Ryaverket (RY).

I Figur 3.4 görs en utblick för jämförelse med avloppsreningsverk från Danmark och Norge. Den danska studien har tittat på tio avloppsreningsverk i Danmark och påvisar samma höga retention som de vid de svenska avloppsreningsverken (i medeltal ca 98 % för 10–500 µm, analyserat med FTIR). De danska avloppsreningsverken har dock i medeltal ca åtta gånger lägre antal inkommande mikroplastpartiklar än motsvarande svenska avloppsreningsverk, se Figur 3.4. De norska avloppsreningsverken (20–5 000 µm, analyserat med SM) har en något lägre retention på i medeltal ca 93 % då två av avloppsreningsverken saknar sekundär rening, och inkommande antal mikroplastpartiklar är i medeltal lägre än vid de svenska avloppsreningsverken (50–5 000 µm, analyserat med SM) trots större analysintervall. Orsaken till variationen i inkommande antal mikroplastpartiklar är oklar, men möjliga anledningar inkluderar skillnad i provtagningsmetod och analysmetod samt skillnad i andel kombinerade spillvatten- och dagvattenledning.



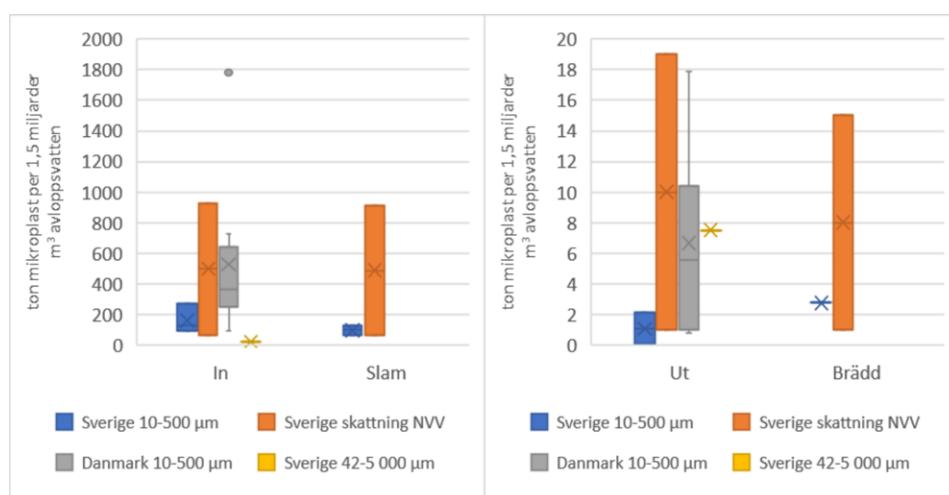
Figur 3.4

Antal mikroplastpartiklar per liter (p/L) i inkommande och utgående renat avloppsvatten vid danska, norska och svenska avloppsreningsverk indelat i olika analysintervall (partikelstorlekar). Observera att skalan är logaritmisk. Minsta möjliga antal mikroplastpartiklar är satt till 0,001 p/L.

3.4 Viktanalys

Uppskattad totalvikt av mikroplastpartiklar in och ut ur avloppsreningsverk per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten (motsvarande mängden renat avloppsvatten i Sverige per år) presenteras i Figur 3.5. Magnusson m.fl. (2016) har uppskattat att den totala vikten av mikroplast i medeltal är ca 500 ton per år i inkommande avloppsvatten och ca 10 ton per år i utgående renat avloppsvatten från svenska avloppsreningsverk. Mätningar från tre svenska avloppsreningsverk (10–500 µm, analyserat med FTIR) visar på motsvarande ca 160 ton (per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten) i inkommande avloppsvatten och ca 1 ton i utgående avloppsvatten. Mätningar från tio danska avloppsreningsverk (10–500 µm, analyserat med FTIR) visar på motsvarande ca 500 ton i inkommande avloppsvatten och 7 ton i utgående avloppsvatten. Retentionen genom dessa avloppsreningsverk är därmed 98–99 %.

I en studie från Lidköpings avloppsreningsverk (42–5 000 µm, analyserat med Py-GCMS, n=1) uppvisas lägre mikroplastleter i inkommande avloppsvatten som skulle motsvara 21 ton per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten samt en utgående mängd mikroplast på motsvarande ca 8 ton (Jordnära miljökonsult AB 2020). Den låga retentionen genom avloppsreningsverket beror på att mikroplast introducerats från en okänd intern källa, medan de låga inkommande halterna delvis kan bero på det högre analysintervallet. Eftersom denna studie visar kraftigt avvikande resultat utan att en tydlig förklaring kan ges, bör resultaten dock tolkas försiktigt.



Figur 3.5

Analyserad och uppskattad vikt mikroplastpartiklar i ton per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten (motsvarande mängden renat avloppsvatten per år i Sverige). Analyser från Sverige (Ryaverket, Sjölundaverket och Käppalaverket) inom intervallet 10–500 µm (n=3; n=1 för bräddning), från Naturvårdsverkets (NVV) nationella skattning, från danska avloppsreningsverk inom intervallet 10–500 µm (n=10) samt från Sverige (Lidköpings avloppsreningsverk) 42–5 000 µm (n=1). Parametern Sverige skattning NVV Brädd inkluderar även bräddning med efterföljande partiell rening på avloppsreningsverk.

Inkommande avloppsvatten till de tio danska avloppsreningsverken hade i medeltal åtta gånger fler mikroplastpartiklar än avloppsvatten in till de tre svenska avloppsreningsverken med detektionsgräns 10 µm, vilket visades i föregående avsnitt. Ändå påvisas bara tre gånger större vikt av mikroplast i de danska jämfört med de svenska avloppsreningsverken (Figur 3.5). Skillnaden kan påvisa variationer i partikelstorlek eller partikeldensitet mellan avloppsreningsverken, men det kan även vara ett resultat av den stora osäkerheten som är förknippad med massanalyser av mikroplaster, såsom densitets-skattning.

Vid Käppalaverket analyserades även vikten av mikroplastpartiklar inom storleksintervallet 500–5 000 µm i inkommande avloppsvatten efter 3 mm rens-galler. Analyserna visade att halten i µg/L var drygt dubbel så stor inom intervallet 500–5 000 µm som inom intervallet 10–500 µm, trots att de större partiklarna till antalet var mycket färre (Andreasson & Bäckbom, 2022). Denna vikt är inte inkluderad i Figur 3.5.

Magnusson m.fl. (2016) har i sin nationella skattning antagit att de mikroplastpartiklar som inte följer med utgående renat avloppsvatten, i förekommande fall 98 % av

mikroplasterna, hamnar i slammet. Tumlin & Bertholds (2020) samt Andersson & Bäckbom (2022) står bakom två studier som har analyserat mikroplastpartiklar i slam och rens. I Ryaverket och Sjölundaverket saknades 10-tals procent av mikroplasterna i slammet inom intervallet 10–500 µm efter utförd massbalans. Tumlin & Bertholds (2020) har i sin studie vidare skattat att ca 30 % av mikroplasterna fastnade i 2 mm rens-galler.

Magnusson m.fl. (2016) uppskattade mängden mikroplast från bräddning på ledningsnätet och bräddning med efterföljande partiell rening på avloppsreningsverk medan Tumlin & Bertholds (2020) endast uppskattade mängden mikroplast från bräddning på ledningsnätet. Båda studierna uppskattar att den mängd mikroplast som når recipienten via bräddning och partiell rening är i samma storleksordning som mängden mikroplast i utgående renat avloppsvatten (Figur 3.5). På samma sätt föreslår tidigare studier av Baresel & Olshammar (2019) att framför allt bräddning av ledningsnät kan stå för en betydande del av mängden mikroplastpartiklar som når vattenrecipienter via avloppsreningsverk.

3.5 Avloppsreningsverk som transportväg av mikroplast

Förekommande resultatsammanställning visar att de undersökta svenska avloppsreningsverken effektivt avskiljer mikroplastpartiklar från inkommande avloppsvatten med en retention på i medeltal 99 % (mellan 93 och 100 %, baserat på antal partiklar). Samtliga undersökta avloppsreningsverk har biologisk rening i form av aktivslamprocess. Som tidigare nämnts kan potentiellt en signifikant andel av mikroplastpartiklarna avskiljas med finrensgaller (2 mm) och grovningen konstateras viktig för att kunna uppnå en hög total reduktion (Tumlin & Bertholds, 2020). Sun m.fl. (2019) utförde en sammanställande studie som indikerar att upp till 60 % av de inkommande mikroplasterna kan avlägsnas med grovgaller efterföljt av fingaller. En studie av Baresel & Olshammar (2020) tyder på att rens-gallrens spaltvidd har stor inverkan på avskiljningen. Vid spaltvidderna 6 mm, 2 mm och 1 mm visade studien att 16 %, 55 % respektive 89 % av mikroplasterna avlägsnades. Då rensat från grovningen ofta förbränns innebär det att mikroplasterna som hamnar här ofta förstörs och avlägsnas från miljön. En ökad avskiljning i detta reningssteg skulle innebära att en mindre mängd mikroplaster hamnar i slammet eller i utgående vatten och i stället förbränns och förstörs. Vidare studier skulle behövas för att optimera avskiljning av plast i primärreningen.

För att uppnå 100 % avskiljning av mikroplaster krävs i regel membranteknik. Membran är tillverkade av plast, vilket kan vara en intern källa till mikroplaster i avloppsreningsverk som främst uppstår när membranen är äldre och regelbundet har rengjorts med kemikalier (Gan m.fl., 2021). Dock skulle dessa mängder vara mycket små och för att kunna dra definitiva slutsatser behövs fler studier inom området.

Flera studier har funnit mindre mängd mikroplast i slammet än vad som teoretiskt borde uppmätas sett till att det som kommer in till avloppsreningsverket också borde komma ut (Chand m.fl., 2021; Ljung m.fl., 2018; Tumlin & Bertholds, 2020). Studien av Ljung m.fl. (2018) menar att den saknade mängden kan bero på osäkra analyser, nedbrytning eller att mikroplasterna fragmenteras till mindre partiklar som inte ingår i analysintervallet. Studien av Tumlin & Bertholds (2020) där slam från Ryaverket analyserats, visade att 40 % av mikroplasterna ”försvann” vid mesofil (36 °C) rötning. Detta förklarar författarna med nedbrytning, fragmentering eller metodfel. Båda studierna nämner nedbrytning som en möjlig anledning till reduktionen av mikroplastpartiklar, något som den korta uppehållstiden i ett avloppsreningsverk skulle kunna tala emot. Det återstår att bevisa om fragmentering kan orsaka bortfallet av mikroplastpartiklar trots att fragmentering samtidigt borde generera fler mikroplastpartiklar inom de intervall som analyseras. För att kunna besvara dessa frågor behövs förbättrade analysmetoder och lägre detektionsgränser.

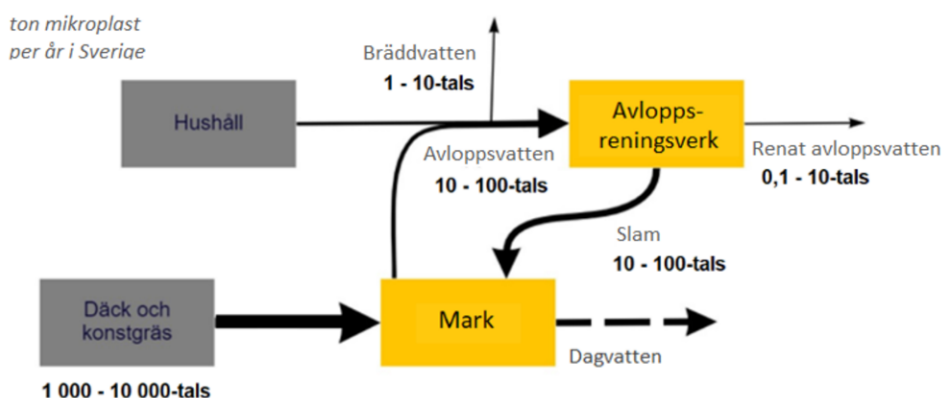
Även om det finns dåligt med underlag på analyser av mikroplast i slam indikerar flera studier att stora delar av inkommande mängd mikroplast hamnar i slammet (Sun m.fl., 2019). Därför blir slamhanteringen avgörande för mikroplasternas spridning i miljön. Figur 3.6. Som tidigare nämnt är termisk behandling av slam ovanligt i Sverige och därmed är det troligt att mikroplastpartiklar som bundits till slammet hamnar i naturen, via exempelvis slamspridning på åkrar. I en studie av Ljung m.fl. (2018) motsvarade den uppmätta mikroplastkoncentrationen inte den teoretiska i den gödslade marken vid normal slamspridning. Möjliga förklaringar till den uppmätta skillnaden är, enligt rapporten, nedbrytning eller fragmentering till storlekar mindre än detektionsgränsen på 10 µm eller transport av mikroplaster till djupare marklager. Detta möjliggörs bland annat av mikroorganismer, vilka finns i större mängd i markmiljön än i vatten.

Uppströmsåtgärder som förhindrar plast att hamna i avloppsvattnet är den bästa metoden för att minska belastningen på avloppsreningsverken och spridning till miljön via denna transportväg. Annan hantering av slam skulle kunna minska mängden mikroplast som når mark via slamspridning. En slutlig rekommendation på hur mikroplaster i slam ska hanteras är dock svårt att ge utan en bredare diskussion om slamspridningens olika för- och nackdelar samt vidare studier på effekterna i naturen som slammet sprids i, vilket det finns pågående studier om i Sverige idag.

Svenska och internationella studier har påvisat att bräddning utgör en betydande transportväg av mikroplastpartiklar i förhållande till utgående renat avloppsvatten (Baresel & Olshammar, 2019; Tumlin & Bertholds, 2020). Figur 3.6. För att minska bräddning av ledningsnätet i samband med höga dagvattenflöden bör tillförseln av dagvatten till ledningsnätet minskas. Detta möjliggörs framför allt genom separata ledningssystem för dagvatten med efterföljande reningssteg såsom exempelvis dammar (Svenskt Vatten AB, 2016; Lange m.fl. 2021). Gröna ytor kan även användas för att bromsa tillflödet till ledningsnäten, liksom reservoarer som kan förvara bräddvatten tills trycket på ledningsnätet minskat igen (Baresel & Olshammar, 2020). Vid avloppsreningsverken är effektiv partiell rening i form av primär rening och högflödesrening av betydelse.

Figur 3.6 visar årlig beräknad viktstorleksordning av mikroplastpartiklar till och från avloppsreningsverk (baserat på de svenska studierna i föregående kapitel) i relation till potentiell vikt av mikroplast från källorna konstgräs och däck. Magnusson m.fl. (2016) har påvisat att upp till ca 10 000 ton mikroplastpartiklar potentiellt avges från konstgräsplaner och däckslitage årligen. Viktmässigt uppskattas transporten som sker via utgående renat avloppsvatten och bräddvatten utgöra enstaka procent av utsläppen som sker via slamfasen, som vidare utgör enstaka procent av utsläppen från däck och konstgräs.

Även om studier (Ljung m.fl., 2018) har indikerat att mikroplast möjligtvis kan lagras, fragmenteras och brytas ned i jorden är utsträckningen som detta kan ske i fortfarande oklar. Enstaka studier (Jordnära miljökonsult AB, 2020; Tumlin & Bertholds, 2020) har analyserat halten mikroplast i dagvatten i Sverige, men för att kunna avgöra den nationella mängden skulle fler studier behövas.



Figur 3.6

Massflödesdiagram med storleksordningar på mikroplastströmmar i ton per år i Sverige. Grå boxar är källor till mikroplastutsläpp, orange boxar och svarta pilar är transportvägar respektive flöden. Bräddvatten, Renat avloppsvatten och Dagvatten går till recipient. Siffrorna baseras på skattningar av Magnusson m.fl. (2016) samt analyser på partikelstorlek 10–500 µm respektive 42–5 000 µm av Andersson & Bäckbom (2022), Tumlin & Bertholds (2020) och Jordnära miljökonsult AB (2020).

4 Slutsatser

En genomgång av åtta svenska avloppsreningsverk visar en reduktionsgrad av antalet mikroplastpartiklar genom avloppsreningsverken på i medeltal 99 % (93–100 %). Trots hög reduktionsgrad kan 1 000-tals miljarder mikroplastpartiklar årligen släppas ut med det renade avloppsvattnet från samtliga svenska avloppsreningsverk. Det råder stor variation i inkommande antal mikroplastpartiklar till de svenska avloppsreningsverken. Variationen accentueras vid jämförelse med studier från Norge och Danmark.

Antalet studier från Sverige som undersöker vikt av mikroplastpartiklar i renat avloppsvatten, bräddvatten och slam är få, där endast fyra studier ligger till grund för skattningarna i förekommande studie. Resultaten från förekommande studie påvisar att motsvarande 0,1–10-tals ton mikroplast kan släppas ut med det renade avloppsvattnet från samtliga svenska avloppsreningsverk årligen. Bräddvatten kan släppa ut motsvarande 1–10-tals ton mikroplast årligen, vilket är i paritet med utsläppen från renat avloppsvatten. Slam är vidare den enskilt största transportvägen av mikroplast från avloppsreningsverk till naturen genom möjliga utsläpp av motsvarande 10–100-tals ton mikroplast årligen. Det kan jämföras med att utsläpp från mikroplastkällorna däck och konstgräs i en tidigare studie har uppskattats generera 1 000–10 000-tals ton mikroplast per år.

Exempel på insatser som skulle kunna minska utsläppen av mikroplast från svenskt avloppsvatten är bland annat minskning av mängden bräddvatten som orenat når recipient samt minskning av mängden mikroplast i slam. En utredning av orsaken till variationerna i inkommande antal mikroplastpartiklar till avloppsreningsverken skulle vidare kunna underlätta uppströmsarbete.

Variation i analyserade storleksintervall och analysmetoder såväl som det begränsade antalet analyser medför stor osäkerhet i analysresultaten som presenteras i förekommande rapport. Att metodiken vid analys av mikroplast inte är standardiserad leder till svårigheter att jämföra resultat. För att få mer representativa resultat behövs bredare analysintervall med avseende på partikelstorlek. Trots att fler partiklar detekteras i de lägre analyserade storleksintervallen kan de större mikroplastpartiklarna ha stor relevans för den sammanlagda vikten. Vad gäller analys av slam krävs vidare metodutveckling för att säkerställa representativa resultat. Generellt efterfrågas fler studier på mikroplast i svenskt avloppsvatten och fler provtagningar per studie.

Referenser

- Andersson, S. L., Westling, K., Andersson, S., Karlsson, J., Narongin, M., Munoz, A. C., & Persson, G. (2021). Long term trials with membrane bioreactor for enhanced wastewater treatment coupled with compact sludge treatment. *IVL*, 96.
- Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järleskog, I., Lithner, D., Polukarova, M., & Strömvall, A.-M. (2020). *Mikroplast från däck- och vägslitage: En kunskapsammanställning* (VTI rapport Nr 1028; s. 138). VTI. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393275/FULLTEXT04.pdf>
- Andreasson, A., & Bäckbom, F. (2022). Massbalans av mikroplaster på Käppalaverket. *Rapport Nr 2022-1, SVU*, 41.
- Baresel, C., Habagil, M., Malovanyy, A., Karlsson, L., Keucken, A., & Bornold, N. (2021). *Förstudie – Läkemedelsrening vid Getteröverket i Varberg*. *IVL*, 91.
- Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten* (Nr C235; s. 118). *IVL Svenska Miljöinstitutet*.
- Baresel, C., Malovanyy, A., Bornold, N., Andersson, S., Yang, J., & Lindblom, E. (2020). Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL. *Nr B 2382*, 40.
- Baresel, C., & Olshammar, M. (2019). On the Importance of Sanitary Sewer Overflow on the Total Discharge of Microplastics from Sewage Water. *Journal of Environmental Protection*, 10(09), 1105–1118. <https://doi.org/10.4236/jep.2019.109065>
- Baresel, C., & Olshammar, M. (2020). *Suggestions for technological solutions and management strategies for WWTP to minimize MP load on the Baltic Sea. Deliverable 4.5, BONUS MICROPOLL - Multilevel assessment of microplastics and associated pollutants in the Baltic Sea.*
- Bhasin, A., Almemark, M., Arnberg, R., Ekengren, Ö., Johansson, K., & Tjus, K. (2020). Framtida slamhantering – Förbränning kombinerat med fosforåtervinning ur askan. *IVL*, 82.
- Chand, R., Abraham Rasmussen, L., Tumlin, S., & Vollertsen, J. (2021). The occurrence and fate of microplastics in a mesophilic anaerobic digester receiving sewage sludge, grease, and fatty slurries. *Science of the Total Environment*, 798.
- Clementson, I., Alenius, E., & Gustafsson, L.-G. (2020). *Tillskottsvatten i avloppssystem—Nya tankar om nyckeltal* (Svenskt Vatten Utveckling Nr 2020–13; s. 66). *Svenskt Vatten*.
- DEPA. (2017). *Microplastic in Danish wastewater sources, occurrences and fate*. Danish Environmental Protection Agency.
- ECHA. (n.d.). *Microplastics*. ECHA. <https://echa.europa.eu/sv/hot-topics/microplastics>
- Eurofins. (2022, februari 24). *Analys av mikroplast i ”orena” vatten – Oxidation av naturligt organiskt material (NOM)*. Eurofins. <https://www.eurofins.se/tjaenster/miljoe-och-vatten/nyheter-miljo/analys-av-mikroplast-i-orena-vatten-oxidation-av-naturligt-organiskt-material-nom/>
- Gan, X., Lin, T., Jiang, F., & Zhang, X. (2021). Impacts on characteristics and effluent safety of PVDF ultrafiltration membranes aged by different chemical cleaning types. *Journal of Membrane Science*, 640, 119770. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119770>

-
- Habagil, M., Petersén, A., Gunnarsson, A., Svedberg, S., Keucken, A., Baresel, C., & Malovanyy, A. (2019). *Förstudie Läkemedelsrening vid Ullared reningsverk. Utredning om behov och möjligheter för utökad rening av avloppsvatten från mikro-föroreningar*. IVL.
- Jordnära miljökonsult AB. (2020). *Mindre mängd mikroplast till Kinnevikens Kartläggning av flöden av mikroplast i vatten från Lidköpings tätort*.
- Lange, K., Blecken, G.-T., Magnusson, K., Kullberg, A. M., & Viklander, M. (2021). *Rening av mikroplast i dagvatten från motor väg*. 2021–22, 30.
- Ljung, E., Olesen, K. B., Andersson, P.-G., Fältström, E., Vollertsen, J., Wittgren, H. B., & Hagman, M. (2018). *Mikroplaster i kretsloppet* (Nr 2018–13; s. 48). Svensk Vatten Utveckling.
- Magnusson, K. (2014). *Mikroskräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk* (C 71; s. 21). IVL Svenska Miljöinstitutet.
- 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. (2017). *Mikroplaster: Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige (s. 158)*. Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2019). *Mikroplaster i miljön år 2019* (s. 110). Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2022). *Mikroplast*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/mikroplast>
- Närhi, K., Westling, K., Andersson, S., Baresel, C., & Wahlberg, C. (2021). *Mikroföroreningar i avloppsreningsverk med membranteknik*. 95. SVU.
- SCB. (2018). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2018—Kommunala avloppsreningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri*.
- Simon, M., van Alst, N., & Vollertsen, J. (2018). *Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging*. *Water Research*, 142, 10.1016/j.watres.2018.05.019.
- Svenskt Vatten AB. (2022). *Avloppsfakta*. Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/avloppsfakta/>
- Tumlin, S., & Bertholds, C. (2020). *Kartläggning av mikroplaster – till, inom och från avloppsreningsverk* (Nr 2020–8; s. 70). Svensk Vatten Utveckling.
- von Friesen, L. W., Granberg, M. E., Hassellöv, M., Gabrielsen, G. W., & Magnusson, K. (2019). *An efficient and gentle enzymatic digestion protocol for the extraction of microplastics from bivalve tissue*. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.016>
- Wennberg, C., Nordlander, H., & Hernebring, C. (2017). *Omfattning av bräddning i svenska kommuner*. Svenskt Vatten Utveckling.
- Williams, M., Pham, K., Mulder, R., Pring, N., Hickey, M., & Mardel, J. (2020). *Microplastic quantification in wastewater*. *CSIRO, Australia*, 131.
-