



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 25013

Examensarbete 30 hp

Juni 2025

Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) i Märstaån

Kartläggning av massflöden och punktkällor

Ellen Kvarnmyr



Abstract

PFAS are highly persistent substances with documented health and environmental risks. Lake Mälaren, which serves as a drinking water source for large parts of the Stockholm region, is particularly sensitive to this type of pollution. Märstaån, a 13-kilometer-long river with a catchment area of approximately 80 km², has in previous studies been identified as a significant source of PFAS to eastern Lake Mälaren. During the period 2017–2021, the annual mass load was estimated at 3.3 kg $\Sigma_{(21)}$ PFAS.

The purpose of this study was to update and deepen the knowledge of PFAS contamination in Märstaån. The work is based on the compilation of historical measurement data, new sampling, and discharge measurements using multiple methods (ADV, ADCP, salt dilution, and float measurements), and was supplemented with modeled values from SMHI's S-HYPE. Data from point sources such as Swedavia and Ragn-Sells were extrapolated to estimate annual mass loads for Märstaån's streams.

The results show that PFAS loads from Märstaån remain significant. For the period 2021–2025, the average annual mass load was estimated at 2.8 kg $\Sigma_{(21)}$ PFAS, of which 1.2 kg was PFOS and 1.9 kg $\Sigma_{(4)}$ PFAS. Kättstabäcken and Halmsjöbäcken had the highest concentrations, particularly of long-chain PFASs such as PFOS (1.2 and 0.24 kg $\Sigma_{(4)}$ PFAS for each stream). The firefighting training site at Arlanda, where PFOS-containing firefighting foam between 1980-2011 was used, is still considered the largest source.

PFAS loads clearly correlated with variations in water discharge, with higher mass flows observed during spring. Despite some declining trends in PFOS and PFHxS, concentrations at the outlet of Märstaån show large variations over time. With new drinking water thresholds for PFAS from 2026 (4 ng/L for $\Sigma_{(4)}$ PFAS, 100 ng/L for $\Sigma_{(21)}$ PFAS), continued monitoring and remediation measures in affected areas, especially around Arlanda, are of critical importance.

Key words: PFAS, surface water, mass flow, discharge

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Benjamin Fischer Ämnesgranskare: Fritjof Fagerlund

Examinator: Antonio Segalini

REFERAT

Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) i Märstaån – Kartläggning av massflöden och punktkällor

Ellen Kvarnmyr

PFAS är mycket persistenta ämnen med dokumenterade hälso- och miljörisker. Mälaren, som utgör dricksvattentäkt för stora delar av Stockholmsregionen, är särskilt känslig för denna typ av förorening. Märstaån, ett 13 kilometer långt vattendrag med ett cirka 80 km² stort avrinningsområde, har i tidigare studier pekats ut som en betydande källa till PFAS i östra Mälaren. Under 2017-2021 uppskattades det årliga massflödet till 3,3 kg Σ_{21} PFAS.

Syftet med denna studie var att uppdatera och fördjupa kunskapen om PFAS-föroreningar i Märstaån. Arbetet bygger på sammanställning av historiska mätdata, nya provtagningar, samt flödesmätningar med flera metoder (ADV, ADCP, saltutspädning, mätning med flottör). Resultaten kompletterades även med modellvärden från SMHI:s S-HYPE. Data från punktkällor som Swedavia och Ragn-Sells har extrapolerats för att beräkna årsvisa massflöden för Märstaåns delvattendrag.

Resultaten visar att PFAS-belastningen från Märstaån fortsatt är betydande. För perioden 2021-2025 beräknades ett genomsnittligt årligt massflöde på 2,8 kg Σ_{21} PFAS, varav 1,2 kg PFOS och 1,9 kg Σ_4 PFAS. Kättstabäcken och Halmsjöbäcken uppvisar de högsta halterna, särskilt av långkedjiga PFAS som PFOS (1,2 och 0,24 kg Σ_4 PFAS för respektive vattendrag). Brandövningsplatsen vid Arlanda där PFOS- innehållande brandskum mellan 1980-2011 använts, bedöms fortfarande vara den största källan.

PFAS-belastningen korrelerar tydligt med variationer i vattenföringen, med högre massflöden under våren. Trots vissa nedåtgående trender för PFOS och PFHxS uppvisar halterna i Märstaåns utlopp stora variationer över tid. Med nya gränsvärden för PFAS i dricksvatten från 2026 (4 ng/l för Σ_4 PFAS, 100 ng/l för Σ_{21} PFAS) är övervakning och åtgärder i särskilt belastade delområden, framför allt kring Arlanda, av avgörande betydelse.

Nyckelord: PFAS, ytvatten, massflöde, vattenföring

Uppsala universitet, Geocentrum, Villavägen 16, 752 36 Uppsala

FÖRORD

I och med genomförandet och avslutandet av detta examensarbete på 30 hp vill jag rikta ett stort tack till framförallt Helene Ejhed på Norrvatten och Benjamin Fischer på Uppsala universitet. Deras engagemang och stöttning i handledning har varit avgörande och oerhört uppskattat. Jag vill även tacka Ludwig Hedberg och David Kvarnmyr som ställde upp och assisterade under vårens fältdagar. Vidare vill jag även rikta ett tack till Fritjof Fagerlund som givit värdefulla råd samt granskat och utvecklat arbetet. Detta projekt hade fortsatt inte varit möjligt att genomföra utan Norrvatten, Stockholm Vatten och Avfall, samt Länsstyrelsen som alla bidragit till provtagning inom ramen för detta projekt. Slutligen har ovärderlig hjälp fåtts från såväl Ragn-Sells som Swedavia, och det har varit kul att få ta del av engagemanget och det delade ansvaret som genomsyrar dialogen kring hanteringen av PFAS i Märstaån.

I och med avslutandet av detta projekt sätter jag också punkt på mina fem fantastiska år i Uppsala på W- programmet. Det har varit en sann ynnest att få utvecklas med och tack vare denna stad och alla jag under dessa år fått dela den med.

Copyright © Ellen Kvarnmyr och Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet

UPTEC W 25013, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad i DiVA, 2025, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (<http://www.diva-portal.org/>)

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Koncentrationerna av Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) i Mälaren har i och med sjöns status som Sveriges största dricksvattentäkt varit under kontinuerlig utredning i många år. PFAS, som är en grupp syntetiska kemikalier, har flertal hälsofarliga effekter, bland annat klassas vissa som reproduktions- och hormonstörande samt cancerframkallande. De kan också innebära risk för en försämring av immunförsvar hos spädbarn som exponeras. På grund av kemikaliernas många fördelar att vara resistent mot värme, fett och vatten har användningsområden för dem blivit många, däribland för diverse impregneringar av kartong och kläder, samt i brandskum. Svårigheten att bryta ner PFAS i kombination med att många av ämnena är vattenlösliga och rörliga i mark innebär att dricksvattentäkter riskerar att förorenas under en lång tid framöver då ingen fullständig nedbrytning i miljön sker.

Norrvatten som producerar och distribuerar dricksvatten via Görvälnverket, beläget i östra Mälaren, utreder därför kontinuerligt halterna av PFAS såväl vid vattenverket som uppströms. År 2022 gjordes en sådan utredning av Ekman & Ejhed vid Stockholm Vatten och Avfall, respektive Norrvatten. Massbalansen av PFAS för Mälaren-Görveln och olika vattenflöden och bassänger med utlopp i Mälaren inkluderades i utredningen. Från det arbetet framgick att Märstaån visade höga uppmätta koncentrationer och mycket stor belastning av PFAS.

Dessa resultat låg till grund för arbetets fokus att vidare utreda Märstaåns PFAS koncentrationer och bidrag till Mälaren. Projektets metod har inneburit att tidigare PFAS- samt flödesmätningar har undersökts, nya mätningar har gjorts, samt har potentiella källor omkring Märstaån undersökts och identifierats. Totalt har tio provpunkter fungerat som indikatorer på åns koncentrationer och där har flöden mätts i syfte att möjliggöra analys om massbelastningen i åns delar. Referenspunkter uppströms valdes också ut för att kunna avgöra skillnader i koncentration och belastning geografiskt. Baserat på de resultat som framkommit från dessa och tidigare mätningar, har ett antal trender kunnat observeras för PFAS-situationen i Märstaån. Dessa inkluderar bland annat att de högsta koncentrationerna av Σ_{21} PFAS erhålls under sen vår / tidig sommar, då även ett generellt lägre flöde finns i vattendragen. Det största massflödet sker baserat på resultaten vanligtvis runt mätningarna i mars.

Det har även observerats att Märstaån, som utgörs av 4 delflöden, Rosersbergsbäcken, Kättstabäcken, Halmsjöbäcken och Odensalabäcken, har stora variationer i PFAS koncentrationer. Baserat på mätningarna är delvattendraget Kättstabäcken det flöde med högst koncentrationer, 636 ng/l Σ_{21} PFAS, varav 400 ng/l Σ_4 PFAS i medel under de mätningar som gjordes mars och april 2025. Kättstabäcken har i sitt avrinningsområde Arlanda Flygplats, där brandövning med brandskum innehållande höga halter PFOS även sedan tidigare observerats som en betydande källa till den föroreningsbild som råder i Märstaån. Jämfört med halter uppmätta 2011/2012 i Kättstabäckens sammanslutning med Halmsjöbäcken är koncentrationerna avsevärt lägre, men åtgärder bör vidare utredas och tillämpas baserat på de halter PFAS som fortfarande finns.

Ett ytterligare antal källor har kunnat påvisas i och med de koncentrationerna som uppmätts. Dock med mycket lägre belastning än från Arlanda. Vid både Brista avfallsanläggning, driven av Ragn-Sells och Sigtuna Återvinning AB, samt Bristaverket driven av Stockholm exergi har i och med mätningar i referenspunkter uppströms, ökade halter kunnat påvisas i anslutning till verksamheternas placering. För övriga källor inom Märstaområdet har inte resultat för PFAS-belastning kunnat preciseras på grund av provtagningens placering.

Bidrag i form av massflöde i kilo Σ_{21} PFAS per år har för Kättstabäcken, Halmsjöbäcken, Odensalabäcken och Rosersbergsbäcken uppskattats till 1.8, 0.36, 0.02, 0.2 kilo per år. Vilket tydligt visar att spridning av PFAS från Arlandaområdet dominerar belastningen i Märstaån. Detta har för Märstaåns mynning uppskattats till 2,8 kilo per år av Σ_{21} PFAS som därmed når recipienten Mälaren. Uppskattningen bygger på de mätningar som gjorts tidigare, tillsammans med årliga variationer och mätningar från våren 2025.

Från och med 1 januari 2026 implementeras ett nytt gränsvärde på 4 ng/l för Σ_4 PFAS och 100 ng/l för Σ_{21} PFAS för dricksvatten. För att säkerställa att dessa krav uppfylls och att dricksvatten av god kvalitet kan fortsätta utnyttjas finns därmed skäl baserat på de mätningar som gjorts i Märstaån, att vidare bevaka PFAS-spridningen och planera för åtgärder i syfte att begränsa denna.

ORDLISTA

ADCP	Acoustic doppler current profiler
AFFF	Aqueous film-forming foam
ADV	Acoustic doppler velocimeter
HARO	Huvudavrinningsområde
PBT	Persistent, Bioackumulativ och Toxisk
PFAS	Per- och polyfluorerade alkylsubstanser
PFCA	Perfluorerade karboxylsyror
PFOA	Perfluoroktansyra
PFOS	Perfluoroktansulfat
PFSA	Perfluorerade sulfonsyror
TWI	Tolerabelt veckointag
VARO	Vattenförekomstavrinningsområde
QGIS	Öppen programvara för att skapa och analysera kartor

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Forskningsbehov och teoretisk bakgrund	2
1.3 Syfte och frågeställningar	3
2. PFAS: EGENSKAPER, BAKGRUND OCH FÖREKOMST	4
2.1 Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS)	4
2.1.1 Kemiska egenskaper och toxicitet	4
2.1.2 PFAS i samhället	6
2.1.3 Förekomst och spridning av PFAS i vatten	7
2.1.4 Gräns- och riktvärden för PFAS	8
3. STUDIEOMRÅDE - MÄRSTAÅN	9
3.1 Norrvatten	9
3.1.1 Norrvattens hantering av PFAS	10
3.2 Områdesbeskrivning - Märstaån	10
3.3 Punktkällor i VARO Märstaån	12
4. METOD	19
4.1 Avgränsningar	19
4.2 Sammanställning av tidigare data	20
4.2.1 Tidigare PFAS mätningar i Märstaån	20
4.2.2 Tidigare flödesmätningar i Märstaån	21
4.3 Mätpunkter i Märstaån	22
4.4 Provtagning av PFAS	23
4.5 Flödesmätningar	23
4.5.1 Mätning av tvärsnittsarea	25
4.5.2 Flödesmätning med ADV	25
4.5.3 Flödesmätning med saltutspädning	26
4.5.4 S-HYPE	26
4.5.5 Extrapolering av årsmedelflöde	26
4.6 Massflödesberäkningar	27
5. RESULTAT	28
5.1 PFAS-koncentrationer i Märstaån	28
5.1.1 Översikt av PFAS halter i Märstaån	28

5.1.2 PFAS i Punkt F	32
5.2 Flödesmätningar	36
5.2.1 Fysiska flödesmätningar	36
5.2.2 Interpolerade vattenföringar	38
5.3 Massflöde	40
6. DISKUSSION	45
6.1 Tolkning av massflöden och variationer	45
6.2 Bidrag från delområden och identifierade punktkällor	47
6.3 Osäkerheter och metodbegränsningar	48
5.4 Miljömässig betydelse och fortsatt behov av övervakning	49
7. SLUTSATSER	50
8. REFERENSER	51
APPENDIX A- PFAS INDELNING	56
APPENDIX B- S-HYPE DATA	58
APPENDIX C- MÄTNINGAR AV VATTENFÖRINGEN	59
APPENDIX D- DOKUMENTATION FRÅN PROVPUNKTER	63
APPENDIX E- SAMMANSTÄLLNING AV PFAS-DATA	66
APPENDIX F- SAMMANSTÄLLNING AV MASSSFLÖDEN	77

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS), är en grupp syntetiska kemikalier som är väldigt långsamt eller ej nedbrytbara (Naturskyddsföreningen 2024). PFAS-ämnenas värmeresistenta och hydrofoba egenskaper har bidragit till en utbredd närvaro i såväl hushållsvaror som i större industriella processer och tillämpningar (Länsstyrelsen u.å.). Då PFAS är ett samlingsnamn för ett stort antal ämnen är effekterna av kemikaliernas spridning i miljön varierade. Många av ämnena är bioackumulerande, samt har humantoxiska och cancerogena effekter (Swedish Chemicals Agency 2025).

Det finns för PFAS en konstaterad förmåga att med stor spridning hamna i yt- och grundvatten, och de påträffades i 92% av undersökta dricksvattenprov i en nationell studie (Naturskyddsföreningen 2024). Mälaren, som fungerar som en dricksvattentäkt för såväl Norrvatten som för Stockholm Vatten och Avfall utreder därmed kontinuerligt PFAS i dricksvattenkoncentrationerna i vattenverket, samt i områden uppströms i syfte att kartlägga potentiella källor till belastning och trender i koncentrationen.

En sådan sammanställning gjordes 2022, då en massbalans för Mälaren-Görväln utfördes, för att senare utvidgas till hela östra Mälaren 2023 (Ekman & Ejhed 2023). Rapporten baserades på sammanställning av PFAS- provtagningar mellan åren 2017 och 2021, och resultatet från rapporten visade på höga koncentrationer av PFAS i framförallt Märstaån och Fyrisån, båda med Mälaren som recipient. I Märstaån uppgick det beräknade massflödet av Σ_{21} PFAS till 3,3 kg/ år baserat på ett SMHI- modellerat värde av medelvattenföringen (Ekman & Ejhed 2023). För beräkningen av det årliga massflödet Σ_{21} PFAS tillämpades summering av totalt årligt vattenflöde med årlig medelkoncentration för beräkning.

Ytterligare en studie för PFAS-belastning i Märstaån har gjorts baserat på mätningar från 2013-2014 (Nguyen et al. 2022). Studien omfattade en analys av den årliga variationen i PFAS-massflöde vid en punkt i anslutning till Arlanda och en punkt vid Märstaåns utlopp. Resultaten visade på mycket förhöjda halter i Arlandaområdet, med de högsta koncentrationerna under vårmånaderna (februari–april). Den totala årliga PFAS-belastningen beräknades till 3,7 kg/år Σ_{21} PFAS, med PFOS och PFHxS som dominerande ämnen (Nguyen et al. 2022). Det vill säga en högre nivå än den som beräknades för perioden 2017–2021 av Ekman och Ejhed.

I studien av Nguyen et al. undersöktes även säsongsvariationer av PFAS-halter i Märstaån samt i Fyrisån (Nguyen et al. 2022). Där framgick att PFAS-halterna i Märstaån var som högst under våren, medan de i Fyrisån var lägre vid dessa högre vårflöden. Författarna motiverade de högre koncentrationerna i Märstaån med att det under våren sker snösmältning, samt höjda grundvattennivåer som leder till mobilisering av PFAS i högre jordlager. Detta antas sedan nå ån via avrinning och grundvattentransport (Nguyen et al. 2022).

1.2 Forskningsbehov och teoretisk bakgrund

Beräkning av totalt PFAS- massflöde är avgörande för att kunna förstå nuvarande miljöpåverkan samt för att kunna rekommendera effektiva åtgärder och sanering av förorenade områden. Det är också viktigt att studera för att kunna planera eventuella åtgärder i dricksvattenproduktionen. Tidigare resultat har indikerat att Märstaån är en betydande källa till PFAS i Mälaren, men det har saknats analys med nyare och tätare data. Flertal metoder kan användas för att beräkna massflöde, i första hand beror valet på täthet av data (Byrne et al 2024). I studien av Ejhed & Ekman (2023) beräknades den som produkten av mediankoncentrationen och årsmedelflödet. I studien av Nguyen et al. från 2022 gjordes månadsvisa beräkningar utifrån produkten av månadsmedelvärdet samt ett mättillfälle av PFAS-koncentrationerna från respektive månad, och sedan en årssummering.

Beräkning av massflöden innebär metodologiska utmaningar, särskilt kopplat till variationer i vattenföring och PFAS-ämnenas olika spridningsbeteenden i ytvattenmiljöer (Byrne et al. 2024). I en forskningsstudie gjord av Byrne et al från 2024 beräknades PFAS-massflödet i floden "Mersey" i nordvästra England, och metodik för massflödesberäkningar utvärderades (Byrne et al 2024). Ett centralt metodproblem som lyftes var att då massflöden beräknas enbart med hänsyn till få medelvärden för vattenföringen i avrinningsområden blir osäkerheterna mycket stora och försvårar källspårning (Byrne et al. 2024). I studien beräknades massflöden dels momentant, samt med en statistisk modell, "Loadest" som kräver högupplöst data.

Resultaten indikerade att tillförlitliga beräkningar för årligt massflöde som bygger på momentana värden kräver frekvent provtagning. I studien utförd av Ekman & Ejhed, som innehöll ett stort antal vattendrag byggde beräkningarna på två mättillfällen i Märstaån. Med den rumsliga och tidsmässiga variation i hydrologiska drivkrafter och avrinningsområdets respons under olika årstider, leder endast två mätningar till stora osäkerheter i vattenföringen och därmed i PFAS belastningen. Det är därför av stor vikt att uppdatera dessa mätningar i syfte att minska osäkerheten. I studien tillämpas metodiken för massflödesberäkning som Ekman & Ejhed (2023) använde, med ytterligare mätningar för att minska osäkerheterna.

För områden som inte bevakas av mätstationer kan förhållanden mellan registrerade referensflöden användas för att extrapolera data och kvantifiera värden. I en tidigare kanadensisk studie av Robertson et al. (2022) där fosforbelastning studerades, utnyttjades multiplikation med en belastningsratio ("load ratio") för att möjliggöra analys av tidigare obevakade områden (Robertson et al. 2022). Teorin bakom extrapolering baserat på referenspunkter där kontinuerliga mätningar görs, blir i denna studie av vikt, då Märstaån utgörs av ett större antal delflöden, där årligt flöde studeras.

1.3 Syfte och frågeställningar

Tidigare undersökningar har pekat ut Märstaån som en viktig källa till PFAS i östra Mälaren. Nguyen et al. (2022) beräknade ett årligt massflöde på 3,7 kg Σ_{21} PFAS utifrån mätningar 2013–2014, medan Ekman & Ejhed (2023) uppskattade motsvarande flöde till 3,3 kg/år för perioden 2017–2021. Viktiga slutsatser framkommit i dessa studier, men förnyad, tätare provtagning som ser över hela Märstaåns avrinningsområde har det funnits behov att ytterligare komplettera med.

Denna studie har syftat till att uppdatera och komplettera tidigare beräkningar genom nya PFAS-mätningar samt analys av flödesdata. Utöver massflödesberäkningar omfattade arbetet analyser av rumslig variation och historiska trender, samt en kartläggning av delområden och potentiella punktkällor som kan bidra till belastningen i vattendraget.

Följande frågeställningar formulerades:

- 1/ Vad är det årliga massflödet av PFAS i Märstaån, och har koncentrationen och belastningen förändrats?
- 2/ Hur varierar massflödet av PFAS mellan olika mättillfällen och finns det en korrelation mellan PFAS-belastning och vattenföring?
- 3/ Hur bidrar olika delområden till PFAS i Märstaån, och finns det variation inom detta?
- 4/ Vilka punktkällor finns i området som kan ligga till grund för halterna PFAS?

2. PFAS: EGENSKAPER, BAKGRUND OCH FÖREKOMST

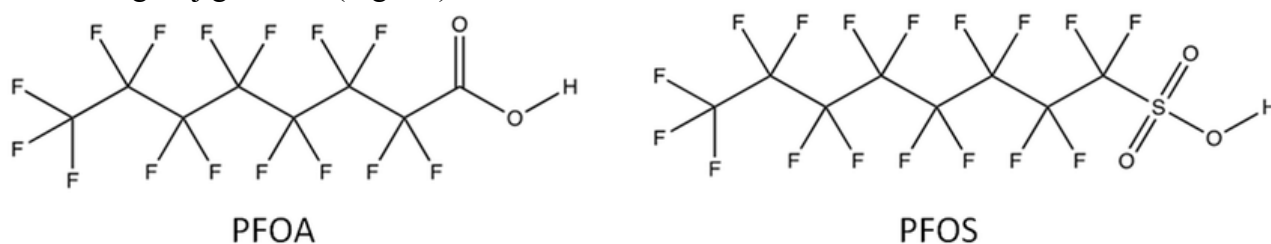
2.1 Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS)

PFAS är ett samlingsnamn för cirka 15 000 ämnen som delar liknande egenskaper, framförallt att de är mycket svårnedbrytbara eller helt persistenta (Naturskyddsföreningen 2024). Några av de huvudsakliga källorna till PFAS i mark och vatten är industrier, avloppsreningsverk och brandövningsplatser. PFAS påverkar kroppen negativt, särskilt hos foster och spädbarn där immunförsvar, födelsevikt och leverenzymmer påverkas (Länsstyrelsen u. å.).

2.1.1 Kemiska egenskaper och toxicitet

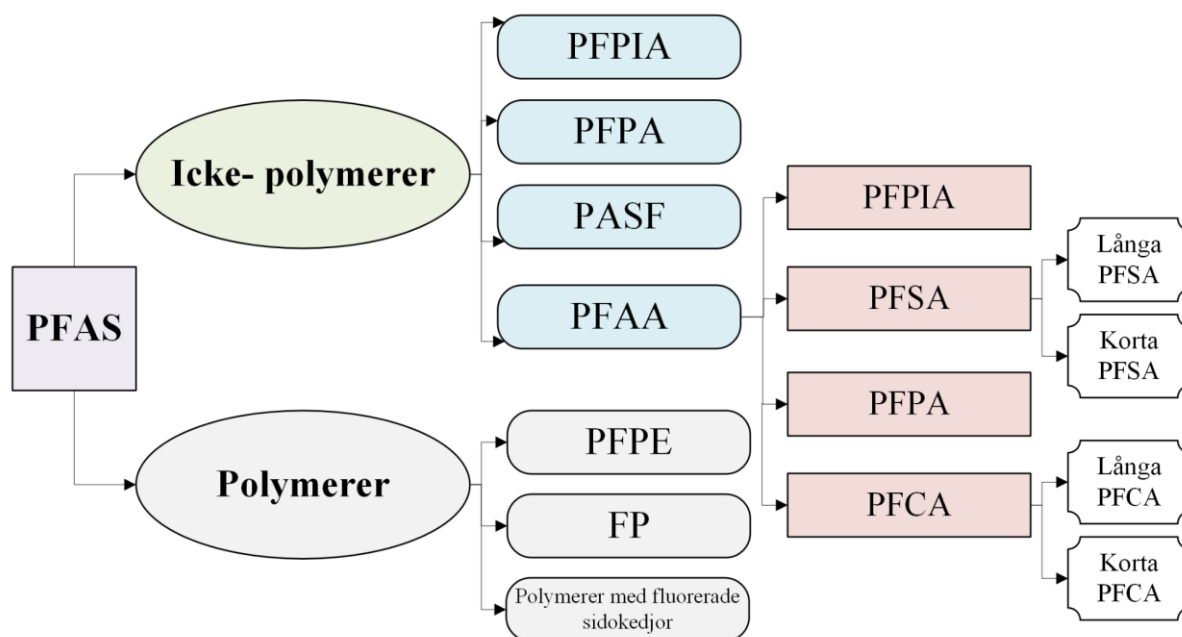
PFAS tillhör gruppen persistenta, bioackumulerande och toxiska ämnen (PBT). PFAS-ämnen skiljer sig åt i struktur och atominnehåll, alla består av en kolkedja där väteatomer är antingen delvis eller helt utbytta mot fluoratomer (Swedish Chemicals Agency 2025). Om alla väteatomer är utbytta klassificeras ämnen som perfluorerade medan delvis utbytta väteatomer innebär att de är polyfluorerade. Det är den starka bindningen mellan kol och fluor som gör PFAS så persistent i naturen.

Några av de mest uppmärksammade PFAS-ämnena är PFOA och PFOS, vilka båda är cancerogena och reproduktionstoxiska. Idag är både PFOA och PFOS förbjudna men fortfarande förekommande i miljön (Swedish Chemicals Agency 2025). PFOA och PFOS tillhör långkedjiga PFAS (Figur 1).



Figur 1: Kemisk struktur av PFOA respektive PFOS, två vanligt förekommande PFAS-ämnena (Carnero et al. 2021).

PFAS kategoriseras även som polymera och icke- polymera. Av dessa är de icke-polymera mer reaktiva och innebär därför en större risk för människa och miljö. Till de icke-polymera PFAS hör både PFOA och PFOS. De polymera PFAS delas in i de med fluorerade sidokedjor respektive fluorerad ryggrad (Swedish Chemicals Agency 2025). Se Figur 2 för illustration av kategorisering av PFAS baserat på dessa grupper.



Figur 2: Indelning av, och exempel på, olika PFAS. Bild baserad på indelning av OECD (OECD 2013).

Baserat på de PFAS som i ytvatten uppmätts i störst koncentrationer och av störst reaktivitet görs fokus inom ramen för detta arbete på de icke-polymera PFAS inom PFAA- kategorin. I Figur 2 tydliggörs ytterligare indelning i PFCA och PFSA där indelning vidare finns i korta och långa kedjor. Gruppering inom dessa kategorier syns presenterad i Tabell 1.

Tabell 1: Gruppering av PFAS-ämnen inom PFAS21 baserad på kemisk struktur.

PFCA		PFSA		Övriga
Långa PFCA	Korta PFCA	Långa PFSA	Korta PFSA	
PFOA	PFBA	PFHxS	PFBS	4:2 FTS
PFNA	PFPeA	PFHpS		6:2 FTS
PFDA	PFHxA	PFOS	PFPeS	8:2 FTS
PFUnA	PFHpA	PFNS		PFOSA
PFDoA		PFDS		

Då indelning av PFAS görs vid tal om hälsorelaterade koncentrationer och halter i dricksvatten benämns ofta Σ_{21} PFAS respektive Σ_4 PFAS, där 21 samt 4 representerar antal PFAS ämnen inkluderat (Stockholm vatten och avfall u. å.). Detta med avseende på regleringen för dem i LIVSFS 2022:12 (Livsmedelsverket 2024). Information om vilka PFAS som inkluderas i dessa två grupper, se Tabell A1 i Appendix A.

Sättet som PFAS långsiktigt påverkar och därmed eventuellt skadar kroppen studeras fortfarande, och alla PFAS har inte samma hälsokonsekvenser (DHS 2024). Några av de effekter som forskning påvisat att PFAS har är att de ackumuleras i lever och blod och binder till proteiner (Håkansson 2024). Spädbarn exponeras i första hand via modersmjölk, och samband har indikerats med bland annat sämre immunförsvar hos barnet. Vidare finns även hälsorisker för vuxna vid långsiktig exponering av PFAS, där studier visat på samband med ökad risk för njur- och testikelcancer (Håkansson 2024).

En ytterligare växande kategori av PFAS- ämnen är de ultrakorta, till dessa hör exempelvis TFA (Trifluorättiksyra). Dessa bildas från nedbrytning av andra ämnen via exempelvis atmosfärisk oxidation, och har i nyare studier påvisats i mycket höga koncentrationer i dricks- och ytvatten (Björnsdotter & Freeling 2023).

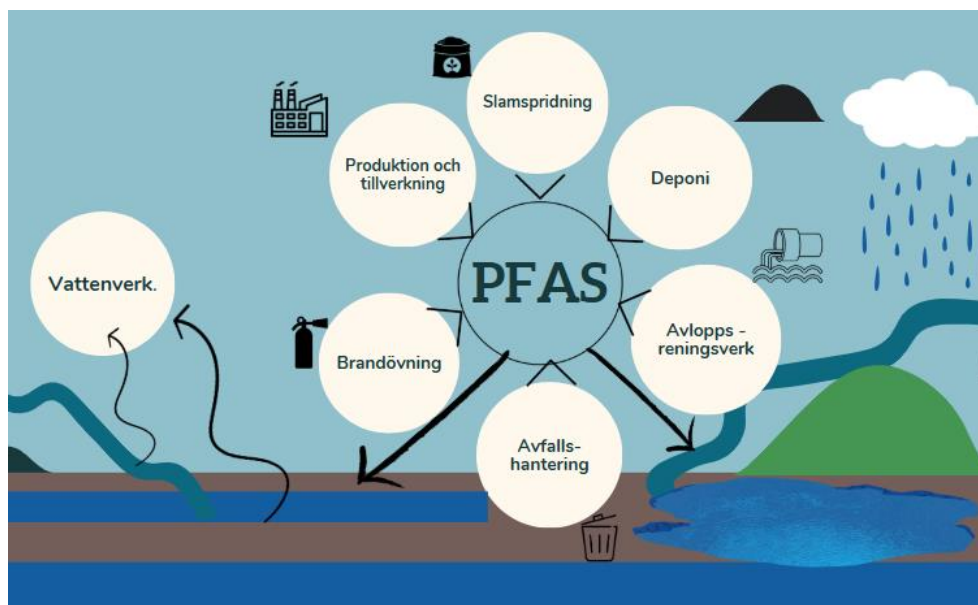
2.1.2 PFAS i samhället

Eftersom PFAS-molekyler är syntetiskt tillverkade är alla PFAS i naturen orsakade av antropogen aktivitet. Förekommande källor till PFAS är bland annat stekpannor, skor, matförpackningar och brandskum (Naturskyddsföreningen 2024). PFAS- ämnen har unika egenskaper i form av att motstå såväl värme, fett och vatten, detta är orsaken till att många användningsområden har hittats och formats i samhället sedan de först började användas på 1950-talet (DHS 2024). Även om PFOS och PFOA har förbjudits har andra PFAS-ämnen med liknande egenskaper ersatt dessa, problematik med PFAS- spridning kvarstår i samhället (DHS 2024). Förutom att PFAS förekommer i olika delar av hemmet och konsumerade varor, finns det även större källor till PFAS i miljön. Dessa är exempelvis kemikalie- och elektronikindustrin, flygplatser, brandövningsplatser samt deponier (Länsstyrelsen u. å.).

PFAS når människan främst genom födan, särskilt fisk och skaldjur, samt genom förtäring av mat som paketerats av material med PFAS (DHS 2024). Det är på grund av ämnenas bioackumulerande egenskaper som matintag blir en av de största exponeringsvägarna. Vidare är även jord och smuts som genom inandning eller intag av jordpartiklar når människor en risk. Slutligen är vatten en av de huvudsakliga spridningsvägarna av PFAS, som genom att konsumeras som dricksvatten även blir en exponeringsväg (Länsstyrelsen u. å.). Orsaken till detta är att en del PFAS är vattenlösliga och därmed kan både spridas långt samt infiltreras i akvatiska ekosystem.

2.1.3 Förekomst och spridning av PFAS i vatten

Det stora antal spridningsvägar som finns för PFAS bidrar till förekomst i regn, grund- och ytvatten. I Figur 3 visas några av de huvudsakliga källorna till PFAS. På grund av sin höga mobilitet ingår PFAS i vattnets naturliga kretslopp, och når grundvatten och ytvatten via direkta utsläpp av exempelvis brandskum, men även via nederbörd samt genom utlakning av kontaminerade jordar (Xu et. al 2021). PFAS-molekylernas storlek påverkar deras spridningsegenskaper och fördelning i naturen och vatten (SGF 2023). PFAS med längre kolkedjor kan i högre utsträckning genom sorption till jordmatrisen bli kvar i jorden medan kortkedjig PFAS, särskilt i jordar med hög porositet och permeabilitet hamnar i såväl yt- som grundvatten (SGF 2023).



Figur 3: Översiktlig visualisering över källor till och spridningsvägar för PFAS i vatten. Baserad på Rich Waters (Rich Waters 2022)

Hur PFAS rör sig i vattnet beror till stor del på de hydrologiska och geologiska förhållandena i området som påverkar vattnets rörelse både i och under jord. Då inventering av och förståelse kring PFAS-ämnens närvaro och beteende i svenska vatten är förhållande nytt finns stora osäkerheter. Koncentrationerna varierar fortfarande kraftigt i vattenflödets tvärsnitt. Vid exempelvis provtagning i ytvatten bör hänsyn tas till att de ytaktiva molekylerna finns i högre koncentration vid ytan samt i skumbildning (SGF 2023).

Naturskyddsföreningen analyserade år 2024 PFAS i ett stort antal dricks- och ytvattenprover i Sverige för att utreda förekomsten av olika PFAS. Ur resultatet framgick att PFAS fanns i alla provtagna ytvatten, samt även i regnvatten (Naturskyddsföreningen 2024). De halter som uppmättes i regnvatten i Stockholms stad var 0,3 ng/ liter Σ_4 PFAS. Vidare uppmättes halter på 370 ng/l TFA (Naturskyddsföreningen 2024).

2.1.4 Gräns- och riktvärden för PFAS

Vad gäller rikt- och gränsvärden för PFAS så konstaterade Europeiska livsmedelsmyndigheten (EFSA) år 2020 att ett maximalt tolerabelt intag per vecka (TVI) är 4,4 ng/ kilo kroppsvikt för Σ_4 PFAS, ett värde som på många håll överskrids (Håkansson 2024). I och med att en av de viktigaste exponeringsvägarna är vatten så finns flertalet gränsvärden på såväl nationell nivå som på EU-nivå för yt- grund- och dricksvatten (Livsmedelsverket 2024). Gränsvärdet för PFOS i ytvatten är 0,65 ng/l som årsmedel enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Inom samma föreskrifter har ett gränsvärde på 90 ng/l konstaterats för Σ_{11} PFAS (SGU 2024). Revidering av dessa värden är under remiss (Havs och Vattenmyndigheten 2024). Nytt förslag innebär att dessa gränsvärden, speciellt för dricksvattenförekomster, bör överensstämja med de gällande för dricksvatten enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVS 2022:12) (Havs och Vattenmyndigheten 2024).

Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVSFS 2022:12) är gränsvärden för dricksvatten som baserats på värden från EFSA, dessa är 4 ng/l för Σ_4 PFAS och 100 ng/l för Σ_{21} PFAS (Livsmedelsverket 2024). Dessa värden fungerar som riktvärden för åtgärder idag, men kommer att vara gränsvärden från och med 1 januari 2026 (Livsmedelsverket 2024). En sammanställning av de olika gränsvärdena för PFAS-ämnen presenteras i Tabell 2. Det lägre värdet för PFAS i ytvatten jämfört med PFAS i dricksvatten beror på att PFAS i ytvatten riskerar att påverka human hälsa genom konsumtion av fisk (SGU 2024). De allra flesta PFAS saknar rikt- och gränsvärden.

Tabell 2: Gällande gräns- och riktvärden för PFAS-intag, samt för PFAS i yt-, grund- och dricksvatten.

	Ämnen	Typ av värde	Halt	Regleras/ rekommenderas av
TVI*	PFAS4	Rekommendation av tolerabelt veckointag	4,4 ng/ kg kroppsvikt	EFSA
Ytvatten	PFOS	Gränsvärden	Årsmedel: 0,65 ng/l	<i>Havs- och vattenmyndighetens föreskrift:</i> HVMFS 2019:25
	PFAS11		Max tillåten konc: 90 ng/l	
Dricksvatten	PFAS4 PFAS21	Gränsvärden från och med 1 Jan 2026	4 ng/l 100 ng/l	<i>Livsmedelsverkets föreskrift:</i> LIVSFS 2022:12
Grundvatten	PFOA ekvivalenter	Tröskelvärde	4,4 ng/l	<i>SGU.s föreskrift:</i> SGU-FS 2023:1

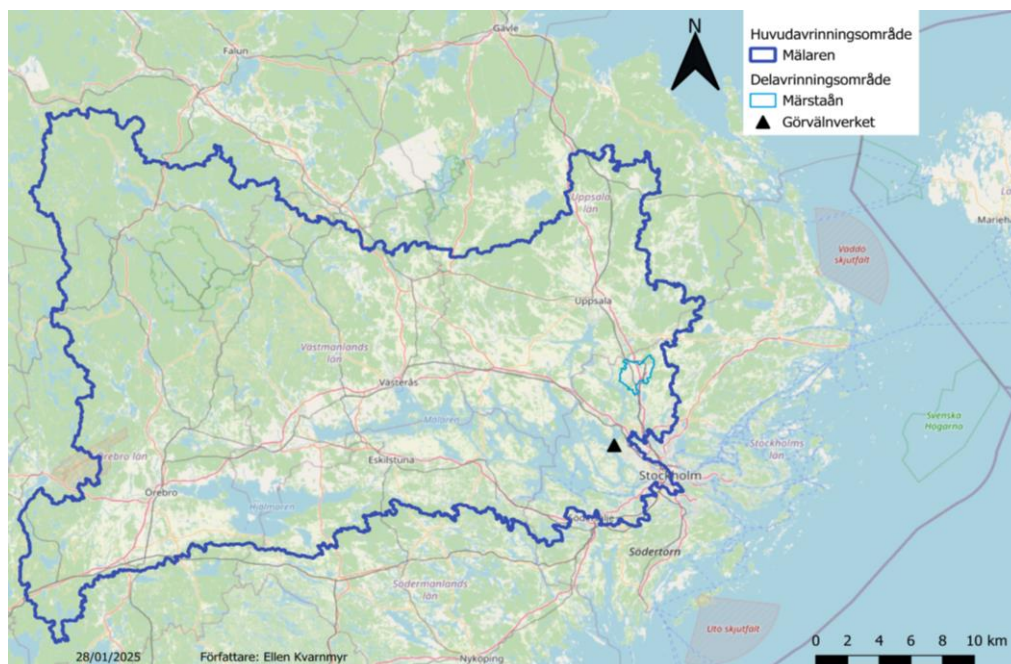
* Tolerabelt veckointag (Håkansson 2024)

3. STUDIEOMRÅDE - MÄRSTAÅN

3.1 Norrvatten

Norrvatten, som är ett Stockholmsbaserat kommunalförbund, är Sveriges fjärde största dricksvattenproducent och producerar samt distribuerar dricksvatten till omkring 700 000 människor (Norrvatten u. å.a). Vattenverket Görvålverket är placerat i Östra Mälaren och står för produktion av 50 miljoner kubikmeter dricksvatten per år. Vattnet som renas och sedan distribueras vidare kommer från Mälaren, Sveriges tredje största sjö, som försörjer totalt två miljoner människor med dricksvatten (Norrvatten u. å.a). Mälarens 22 650 km² stora tillrinningsområde har en befolkning på en miljon människor, och sjön är fortfarande känslig för utsläpp och påverkan från de många industrier och verksamheter som finns inom området (Mälarens Vattenvårdsförbund u. å). Mälarens avrinningsområde samt Görvålverkets placering visualiseras i Figur 4.

1998 etablerades Mälarens vattenvårdsförbund, och den ideella organisationen med 60 medlemmar, bland annat Norrvatten, har till syfte att bedriva miljöövervakning av Mälarens vattenkvalitet samt kommunicera och utbyta kunskap kring vattenvårdsfrågor för sjön (Mälarens Vattenvårdsförbund u. å). Det finns utöver Mälarens vattenvårdsförbund även ett samarbete specifikt för Märstaån, där miljöövervakning och provtagning i ån görs, "Märstaåns vattensamverkan". Aktörerna som ingår i detta är Sigtuna kommun, Swedavia, Stockholm Exergi, Sigtuna Återvinning AB (SÅAB), Sigtuna Vatten & Renhållning AB (SIVAB), Beckers Industrial Coatings AB och Lantbrukarnas riksförbund (LRF) (Sigtuna kommun u.å.). Inom detta arbete inkluderas provtagning som Länsstyrelsen gör på uppdrag av Märstaåns vattensamverkan mars och april 2025.



Figur 4: Mälarens och Märstaåns avrinningsområden, samt placering av Görvålverket i Mälaren. Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap. Karta över avrinningsområden: SMHI, 2025.

3.1.1 Norrvattens hantering av PFAS

Mälarens vatten vid Görvälnverket innehåller cirka 4 ng/l Σ_4 PFAS vilket innebär att rening krävs för att inte överskrida gränsvärdet på 4 ng/l (Norrvatten u.å.a). Norrvatten har för närvarande flotation i sedimentationsbassängerna, vilket fungerar genom att partiklar lyfts till ytan genom att bindas till luftbubblor och sedan förs bort (Norrvatten u. å.c).

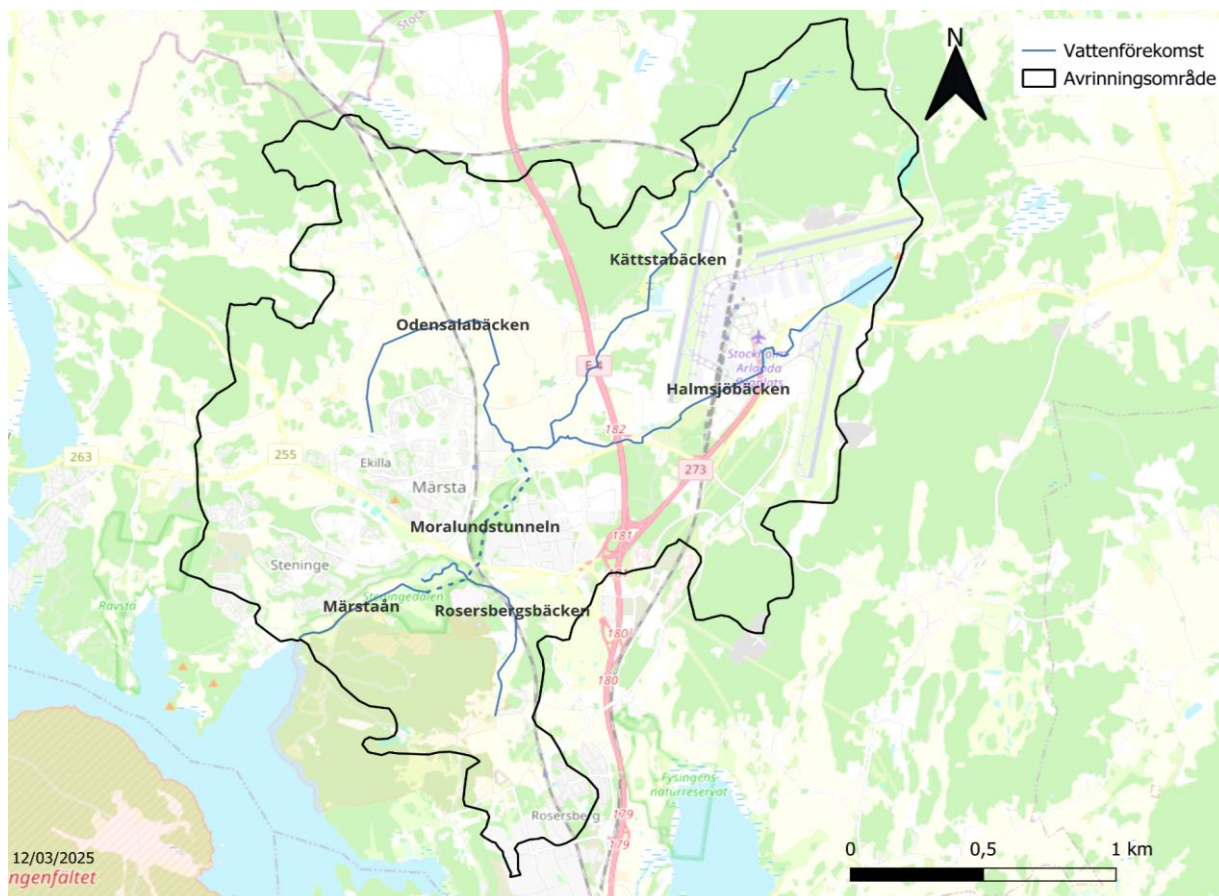
Koncentrationerna i de det renade och därefter distribuerade dricksvattnet mättes under 2024 till ett medelvärde av Σ_4 PFAS på 3,1 ng/l, med ett högsta respektive lägsta värde på 3,3 och 2,5 ng/l totalt (Norrvatten u. å.b). Detta innebär att dricksvattnet i dagsläget uppfyller gränsvärdet som implementeras från och med 2026 på 4 ng/l för Σ_4 PFAS. Norrvatten har planerat för ytterligare rening av dricksvattnet med avseende på PFAS för att hamna lägre under de nya gränsvärdena för Σ_4 PFAS och Σ_{21} PFAS. Rening av PFAS med aktivt kol kommer framåt att utvidgas på Görvälnverket, och pilotförsök har testats sedan 2021 (Norrvatten u. å.a).

Förutom att implementera ökad rening på vattenverket pågår ett aktivt uppströmsarbete genom samverkan med Mälarens Vattenvårdsförbund samt aktörerna inom dessa, bland annat Norrvatten. Uppströmsarbetet görs för att utreda källor och områden med tung belastning, och för att minimera behovet av rening, detta i enlighet med 2 kap 8 § miljöbalken att den som orsakat miljöskada är ansvarig för åtgärder (Naturvårdsverket 2024). I studien “Källor till PFAS, massbalans för Mälaren- Görväln” beräknades massflöden i syfte att kvantifiera källor till PFAS och i och med detta lägga tyngd på uppströmsarbete för sanering av PFAS innan det når Mälaren och Görvälnverket (Ejhed och Ekman 2022).

3.2 Områdesbeskrivning - Märstaån

Märstaån är ett vattendrag beläget nordväst om Stockholmsåsen (VISS 2025).

Avrinningsområdet för Märstaån är cirka 80 km² stort och inom detta finns bland annat Märsta Centralort, Arlanda flygplats och ett flertal jordbruk såväl som deponier och andra verksamheter. Ån har sitt utlopp i Mälaren, och de olika vattenförekomsterna som området består av är Odensalabäcken, Kättstabäcken, Halmsjöbäcken samt Rosersbergsbäcken (Länsstyrelsen 2013). Delar av Märstaån är under jord i Moralundstunneln (Figur 5). Inom ramen för denna rapport studeras de vattendrag tillhörande Märstaån som kategoriseras som “Vattenförekomst” av Länsstyrelsen och där utbredningen framgår av VISS (VISS 2025). Detta medför att de dammar och mindre vattendrag som inte klassificeras som vattenförekomst inte medtagits i provtagningsmetodiken.



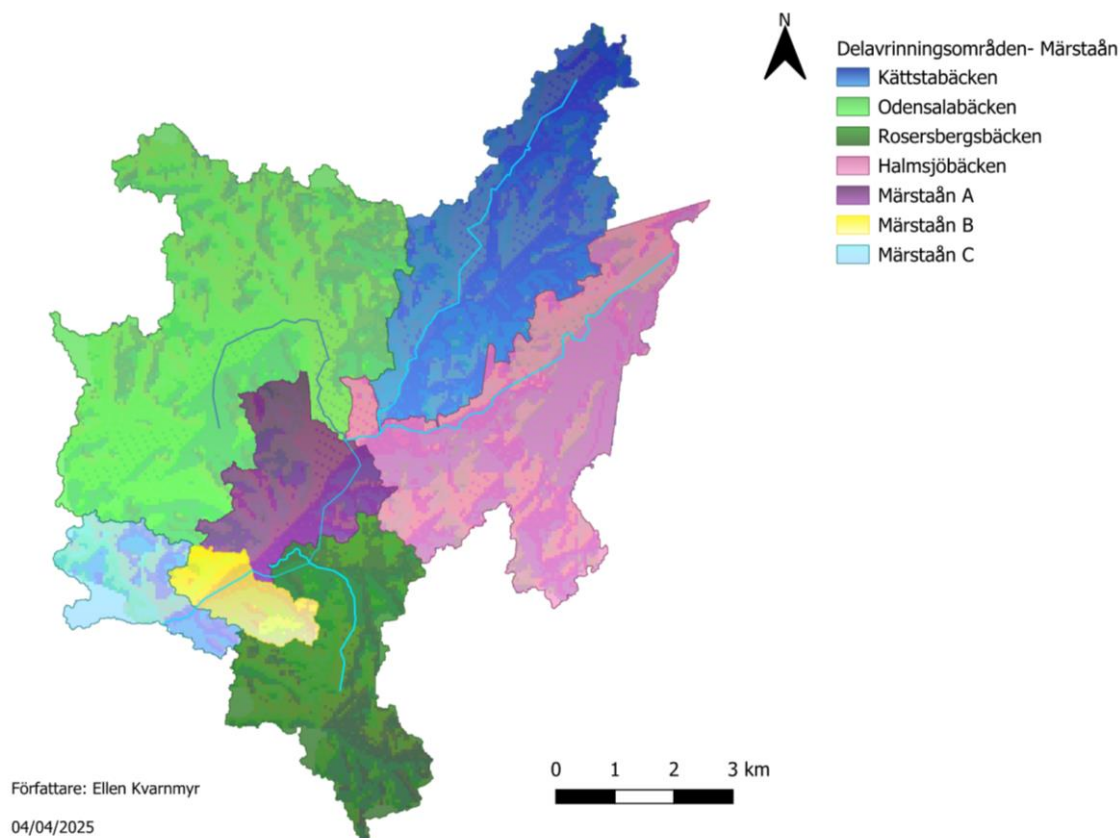
Figur 5: Mårstaåns vattenförekomster samt utlopp i Mälaren. Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap. Vattenförekomster baserade på VISS, 2025.

I en rapport sammanställd av Länsstyrelsen över Mårstaån fastställdes år 2013 markanvändningen i området via Naturvårdsverkets nationella marktäckedata (Tabell 3). Ur denna framkommer det att de tre största kategorierna inom området är skog (inklusive hygge), åkermark samt flygplats (Länsstyrelsen 2013).

Tabell 3: Markanvändning i Mårstaåns avrinningsområde (Länsstyrelsen 2013)

Markslag	Area [ha]	% av totalt areal
Skog inkl hygge	2999	39
Åkermark	2189	28
Flygplats	1023	13
Bebyggelse	497	6
Betesmarker	383	5
Industri mm	321	4
Urbana grönområden	185	2
Övrigt	76	1
Vatten	50	1

Utifrån topografiska data har avrinningsområdet delats in i delavrinningsområden i QGIS baserat på de respektive vattenförekomsterna (Figur 6). De delavrinningsområden som inte tillhör någon av de mindre vattenförekomsterna benämns Märstaån- A, B och C. Totalt är följaktligen avrinningsområdet för Märstaån uppdelat i sju mindre delar.



Figur 6: Märstaåns delavrinningsområden. Egen bearbetning i QGIS. Karta över avrinningsområden: SMHI, 2025. Höjddata: ©Lantmäteriet.

3.3 Punktkällor i VARO Märstaån

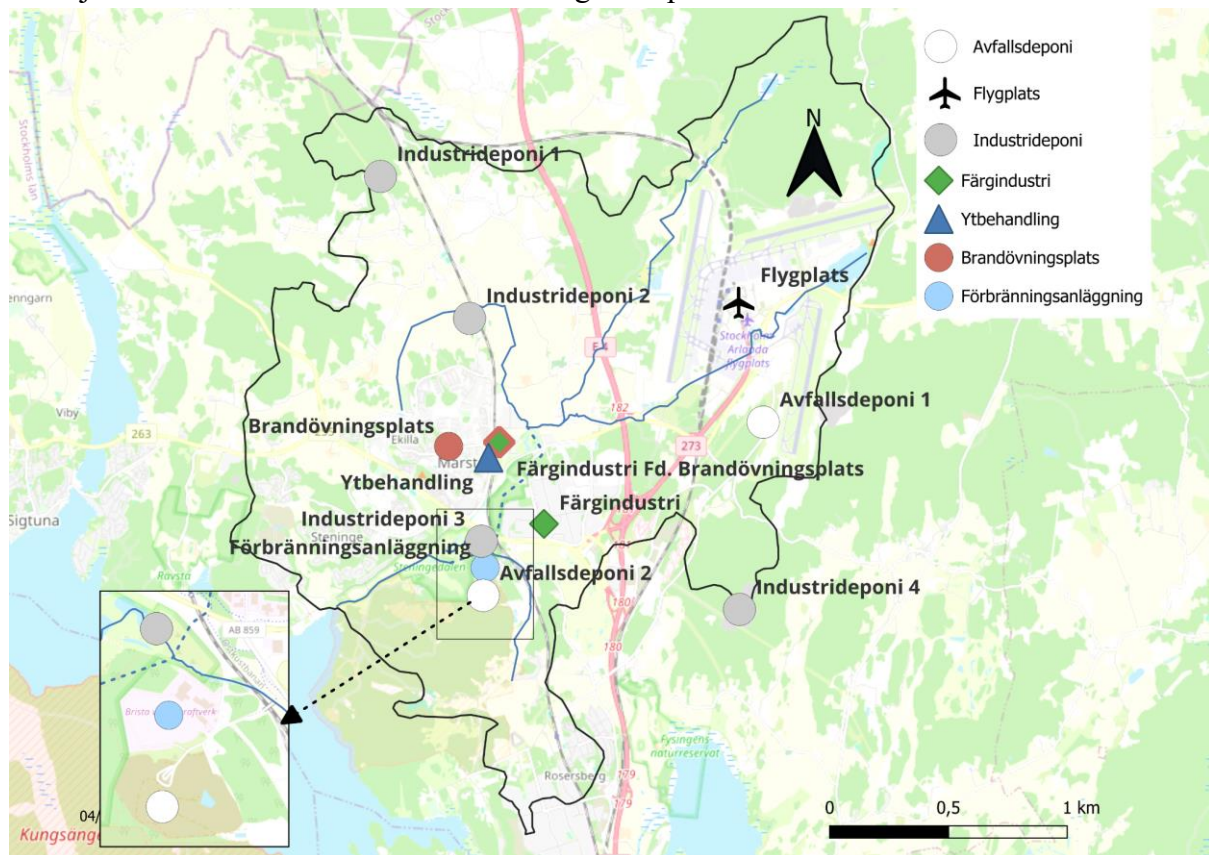
Vid analysen av PFAS-källor togs de objekt som listas i Länsstyrelsens efterbehandlingskarta (EBH) med i beaktning (Länsstyrelserna 2025). På EBH- kartan klassificeras objekt enligt följande:

- Objekt vars risk bedömts: 1-4 (där 1 innebär mycket stor risk och 4 låg risk).
- Potentiellt förorenade objekt som ännu ej klassificerats: E.
- Förorenade områden där åtgärder delvis eller helt implementeras: MKM respektive KM (mindre känslig respektive känslig markanvändning). Där MKM och KM anger för vilken typ av markanvändning åtgärderna har genomförts (SGI 2024).

I Märstaåns avrinningsområde finns ett stort antal objekt markerade i kartan, varav de branschklassificerade objekt där PFAS förekommer som "Branschspecifika föroreningar mark" inom Naturvårdsverkets "Branschlistan förorenade områden 2024" är totalt 44 stycken (Naturvårdsverket 2024). I Figur 7 åskådliggörs de potentiella punktkällor till PFAS som inom EBH- kartan och branschlistan finns i vattenavrinningsområdet (VARO) för Märstaån. De branscher vars objekt i EBH-kartan presenteras är:

- Avfallsdeponi - icke-farligt, farligt avfall
- Brandövningsplats
- Flygplats
- Färgindustri
- Förbränningsanläggning
- Industrideponi
- Ytbehandling

Eftersom 37 objekt återfinns inom Arlandaområdet klassificerats som flygplats sammanfattades de till en gemensam Punkt För att förenkla analysen (Länsstyrelserna 2025). 11 objekt totalt kvarstår därmed i utvärderingen av punktkällor.



Figur 7: Kategoriserade objekt från EBH-kartan inom VARO Märstaån som inkluderas i analys av punktkällor (Länsstyrelserna 2025). Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

I Tabell 4 presenteras dessa objekts indelning i EBH-kartan med avseende på klassificering och eventuell riskklass. Det objekt från Arlanda som inkluderades var det från en förstudie som klassificerats med riskklass 1. Då objektet i Tabell 4 “Avfallsdeponi 1” tillhör Arlandaområdet men kategoriserades i EBH-kartan som “Avfallsdeponi” och ej flygplats inkluderades även detta i utvärderingen av punktkällor. I Tabell 4 presenteras en översiktlig beskrivning av objekten, ytterligare beskrivning erhålls under respektive branschrubrik nedan. Fokus läggs speciellt på beskrivning av de källor som i tidigare studier påtalats vara betydande.

Tabell 4: Objekt med potentiella PFAS-föreningar inom VARO Märstaån (Länsstyrelserna 2025).

Objekt	Status	Klassificering i EBH-kartan	Beskrivning (Objektnamn, plats)
Avfallsdeponi 1	Identifiering	E	Lindskrog deponi, Arlanda
Avfallsdeponi 2	Identifiering	E	Ragn-Sells/ SÅAB: Brista avfallsanläggning
Brandövningsplats	Åtgärd	KM	Märsta brandstation, Märsta
Flygplats	Förstudie	Riskklass 1	Arlanda flygplats, Sigtuna
Färgindustri 1	Delåtgärd	Riskklass 2	Beckers Acroma KB
Färgindustri 2	Förstudie	Riskklass 2	Becker Industrial Coatings AB
Förbränningsanläggning	Delåtgärd		Stockholm Exergi Bristaverket
Industrideponi 1	Identifiering	E	Berga gård, Berga
Industrideponi 2	Identifiering	E	Tollsta Södra, Tollsta
Industrideponi 3	Identifiering	E	Skvalet, Märsta
Industrideponi 4	Identifiering	E	Märsta Förenade Åkerier bergtäkt, Västerbytorp
Ytbehandling	Inventering	Riskklass 3	Matsilver

3.3.1 Flygplats

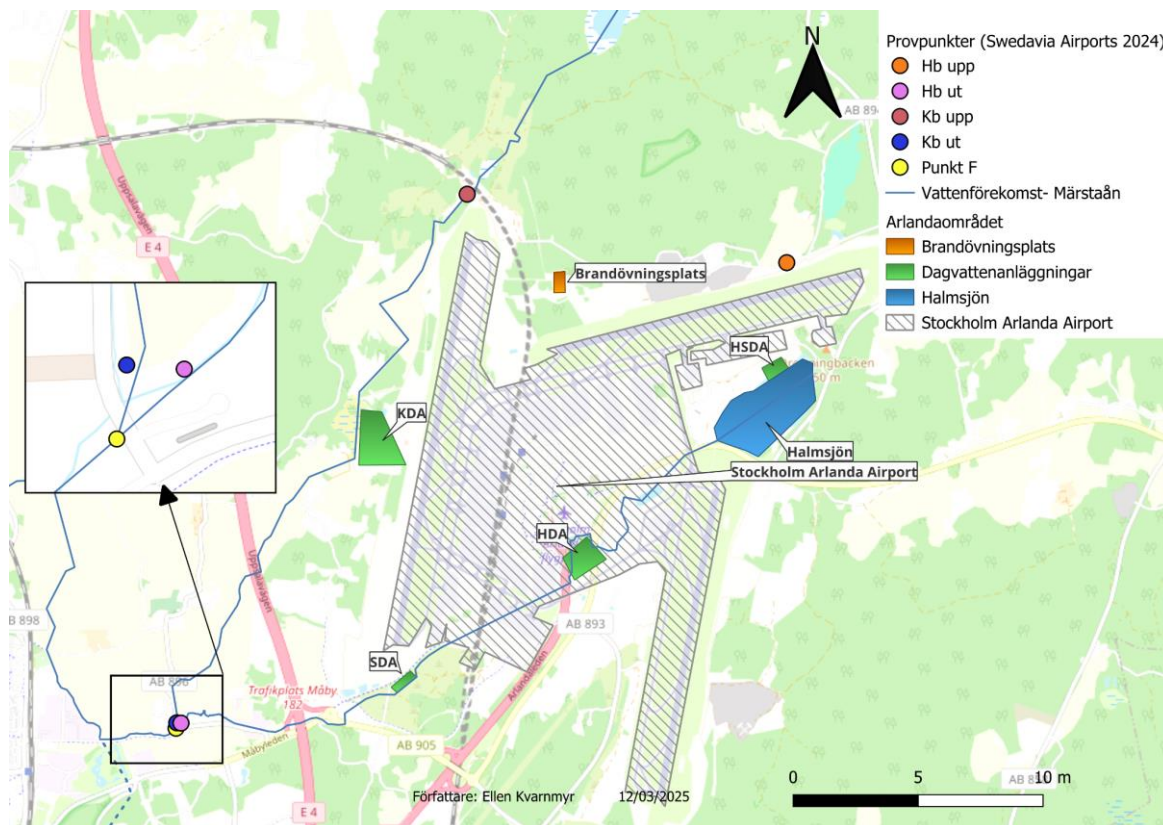
I Sverige är den största identifierade utsläppskällan av PFAS brandövningsplatser (Swedish Chemicals Agency 2025). Då brandövningsplatser av säkerhetsskäl finns på flygplatser gör det att PFAS i och runt Arlanda området kontinuerligt utretts, sedan det identifierades i Halmsjön och Kättstabäcken år 2008. Arlanda har i tidigare rapporter om PFAS i Mälaren och Märstaån pekats ut som en källa med ett betydande bidrag. I en kartläggning av Arlandaområdets PFAS-halter, där ytvatten, sediment och abborrar i Halmsjön provtogs uppvisades höga värden av diverse PFAS ämnen, speciellt i anslutning till brandövningsplatsen (Ahrens et al., 2015). Vidare har Swedavia ansvarat för egna provtagningar i syfte att utreda PFAS- halterna i de olika delarna av området. 2008 förbjöds övning med brandskum innehållande PFAS som använts på platsen sedan 1980-talet, för att sedan ersättas 2011 med ett PFAS-fritt alternativ (Swedavia u. å.).

Åren 2009-2014 ingick Swedavia i projektet RE-PATH, “Risks and Effects of the dispersion of PFAS on Aquatic, Terrestrial and Human populations in the vicinity of International Airports” (Swedavia u.å.). RE-PATH, som genomfördes tillsammans med Naturvårdsverket och IVL, utredde de dåvarande och analyserade framtida spår av den PFAS- användningen som resulterat i höga PFAS-halter vid Arlanda och Landvetter (Swedavia u.å.).

Resultat från 2013-2014 visade på att det uppskattningsvis spreds 1,3 kg PFOS och 2,4 kilo PFAS till Mälaren årligen under den undersökta perioden (IVL 2023). En prognos framtagen med en dynamisk massbalansmodell för PFOS visade på att avtagandet av halterna utan vidare åtgärder var mycket långsamma (IVL 2015). Ur sammanfattningen för RE-PATH estimerades att hälften av den mängd PFOS som använts sedan starten 1980 beräknades finnas kvar vid slutet av projektet år 2014 (IVL 2015).

Halmsjöbäcken samt Kättstabäcken är de vattenförekomster i Märstaån som är recipienter för vatten från Arlandaområdet och brandövningsplatsen. Baserat på Swedavias Miljörapport 2023 åskådliggörs Arlandaområdet och dess recipienter i Figur 8 (Swedavia Airports 2024). I figuren presenteras området, punkter för provtagning och utsläpp i recipienterna, samt dagvattenanläggningar. Dagvattenanläggningarna i området är placerade i anslutning till Kättstabäcken (KDA), Halmsjöbäcken (HDA), Halmsjön (HSDA) samt Södra dagvattenanläggningen (SDA), placerad strax söder om området (Swedavia Airports 2024). För ytvattenrecipienterna Kättstabäcken och Halmsjöbäcken finns varsin Punkt För uppströmsmätningar, "Kb upp" samt "Hb upp" samt nedströmpunkter "Hb ut".

Den huvudsakliga utsläppspunkten från Arlanda till Märstaån kan därmed identifieras som den punkt där sammanflödet mellan Halmsjöbäcken och Kättstabäcken sker nedströms i "Punkt F" (Swedavia Airports 2024). Ur sammanfattningen av RE-PATH framgick det att den främsta recipienten för PFOS från Arlanda är Mälaren, då resultatet visade på dominerande transportväg i Punkt F (IVL 2015).



Figur 8: Arlandaområdets dagvattendammar och recipienter i Märstaån. Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap. Beskrivning av Arlandaområdet (IVL 2015)

Massbalansberäkningarna i RE-PATH byggde på att saneringsåtgärder ej implementerats för att rena PFAS (IVL 2015). Sedan RE-PATH har dock ett antal pilotstudier och utredningar gjorts mot bakgrund att reducera de halter PFAS som når Mälaren (Swedavia u.å.). I september 2023 implementerades “A-train”, ett reningssystem som innebär att vatten som pumpas från tågtunnelarna renas från PFAS (Swedavia 2023). Innan installeringen av A-train gick vattnet orenat ut till dammen (Swedavia 2023). En flytt av brandövningsverksamheten är planlagd från den nuvarande brandövningsplatsen, detta för att reducera mängden vatten som lakas ur de kontaminerade jordmassorna¹.

3.3.2 Brandövningsplatser

Den identifierade brandövningsplatsen (utöver den på flygplatsområdet) är den före detta brandstationen “Märsta brandstation”. Stationen var aktiv mellan 1960-2015 och på platsen gjordes även brandövningar som involverade brandskum (Länsstyrelserna 2025). 2015 gjordes ett schaktarbete på platsen i syfte att förhindra PFOS-spridning från tidigare brandskum och över 6 700 ton transporterades bort (Länsstyrelserna 2025). Efter att schaktarbetet utfördes fanns det på begränsade platser kvar jord som ej uppfyllde åtgärds målet på 30 µg/kg TS PFOS (Länsstyrelserna 2025).

3.3.3 Avfallsdeponier

- Avfallsdeponi 1

“Lindskrog deponi” är en nedlagd deponi belägen i Arlanda-områdets södra del. Deponin tog emot schaktmassor med grus, sand och jord, mindre än 50 ton/år (Länsstyrelserna 2025).

- Avfallsdeponi 2

Avfallsdeponi 2 är en deponi i anslutning till Brista avfallsanläggning. Verksamheten drivs av SÅAB, som ägs av Ragn-Sells AB och Sigtuna kommun (IVL 2022).

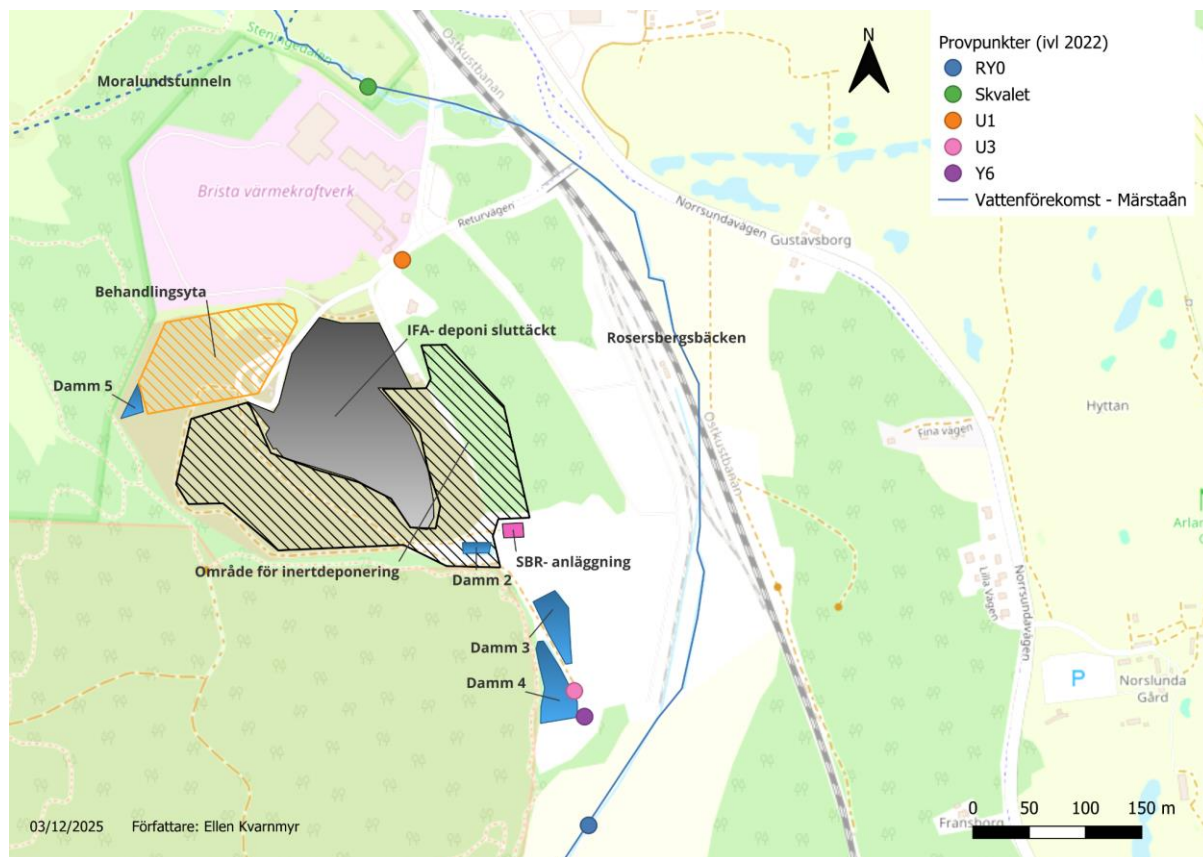
Eftersorteringsanläggningen och den inerta deponin är aktiv och öppen för företag, medan deponin som var öppen mellan 1984-2008 är sluttäckt sedan 2023. Industriavfall, latrin och slam deponerades när den var aktiv (Länsstyrelserna 2025).

I en provotidsredovisning för Brista avfallsanläggning från 2022 presenterades resultat för mängd lakvatten och även uppmätta halter PFAS och TOC från den så kallade IFA-deponin (deponi för “icke- farligt avfall”). Provotidsredovisningen gjordes av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Sigtuna Återvinning AB (IVL 2022). Från IFA-deponin tillämpas satsvis biologisk rening av lakvattnet innan det transporteras till dammar för att därefter föras till utsläppspunkten U3 i Rosersbergsbäcken (Figur 9). Den beräknade mängd lakvatten som framöver uppskattas produceras uppgavs i rapporten till 5000 m³ (IVL 2022).

I Figur 8 presenteras området kring Brista och den nedlagda deponin baserad på visualiseringar från provotidsredovisningen. Referenspunkten för ytvatten i Rosersbergsbäcken finns i “RY0” och utsläppspunkterna till ytvattenrecipient för Brista-anläggningen finns i U1 och U3.

¹ Anders Sivertsson, miljöspecialist, Stockholm- Arlanda Airport, möte 2025-04-25

Punkten “Skvalet” är belägen nedströms efter båda utsläppspunkterna, vilket gör det möjligt att där mäta den samlade påverkan från Bristadeponin i Rosersbergsbäcken (IVL 2022). I punkt “Y6” har ytvattenprov tagits under perioden 2019-2022, med analyser av bland annat PFAS.



Figur 9: Utsläppspunkter och mätpunkter i Rosersbergsbäcken för Brista avfallsanläggning, baserad på information från Prövotidsredovisningen från 2022 (IVL 2022). Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

3.3.4 Förbränningsanläggning

- I området Brista i Rosersbergsbäckens delavrinningsområde finns förutom avfallsanläggningen tillhörande Ragn-Sells och SÅAB även Bristaverket, ett värmeverk drivet av Stockholm exergi (Figur 8). Ytvattenrecipient för verket är som för avfallsanläggningen också Rosersbergsbäcken, och nedströms Skvalet är följaktligen även Bristaverkets potentiella påverkan möjlig att kartlägga. Bristaverket är ett kraftvärmeverk som sedan 1997 producerar fjärrvärme med biokol, rester från skogsindustrin samt sedan 2013 även från avfall (Stockholm exergi u. å.).

Då IVL 2021 studerade PFAS från 27 avfallsförbränningsanläggningar påvisades generellt låga resultat, dock med vissa undantag (IVL 2021). I studien påvisades i kondensvattenkoncentrationer PFAS mellan 0,28 och 182 ng/L i 13-31 pannor, framförallt kortkedjiga PFCA som PFOA och PFHxA (IVL 2021). Studien omfattade inte publicering av specifika förbränningsanläggningar, men Bristaverket inkluderas i analys av PFAS i Märstaån som potentiell källa till PFAS i och med förbränningsanläggningars eventuella samband till PFAS.

3.3.5 Färgindustrier

- Färgindustri 1, tidigare “Beckers Acroma KB” och numera “SHERWIN-WILLIAMS” är identifierad i EBH-kartan. Omfattande färgindustriverksamhet pågående på platsen sedan 1963 (Länsstyrelserna 2025). I tidigare utredningar och publicerade undersökningar av platsen har ej PFAS utretts.
- Färgindustri 2 & F.d Brandövningsplats “Becker Industrial Coatings AB” är en industri där färg och lack för metaller och plast producerats sedan 1923 (Länsstyrelserna 2025). Båda Färgindustri 1 & 2 ligger inom Märsta Centralort i samband med Moralundstunneln. Detta medför att de inte har direkta utsläppspunkter i Märstaån baserat på Länsstyrelsens definitioner av vattenförekomst, men på grund av mobilitet hos PFAS och eventuella mindre vattenförekomster som når Märstaån nedströms inkluderas de i analys.

3.3.6 Industrideponier

- Industrideponi 1 är en deponi tillhörande den tidigare gården “Berga gård” som identifierats i en av Länsstyrelsens inventering av avfallsanläggningar. Den var i drift mellan 1966-1988 och bestod av bygg- och rivningsavfall, schaktmassor och eventuellt hushållsavfall (Länsstyrelserna 2025).
- Industrideponi 2 är likt ovanstående objekt identifierat i en inventering av Länsstyrelsen. Objektet benämns som “Tollsta Södra”, är ej aktiv idag och skrot deponerades. (Länsstyrelserna 2025)
- Industrideponi 3: "Skvalet" är en nedlagd industrideponi där exempelvis metaller, aska och slagg deponerats (Länsstyrelserna 2025).
- Industrideponi 4: “Västerbytorp” är en deponi kopplad till den bergtäkt där den är placerad driven av Märsta Förenade Åkerier AB. På platsen har ej återvinningsbara schaktmassor som bergtäkt och träflis deponerats. Deponin är fortfarande i drift och har varit det sedan 1992 (Länsstyrelserna 2025).

3.3.7 Ytbehandling

- Verksamheten uppskriven som “Ytbehandling” är anläggningen “Matsilver” där ytbehandling av metaller för bestickstillverkning (Länsstyrelserna 2025). Verksamheten var i drift mellan 1954-1979 och ingen dokumentation av PFAS finns.

4. METOD

Metoden för analys av PFAS-massflöden i Märstaåns vattenförekomster delades upp i tre större delsteg (Figur 9). Det första inkluderade att sammanställa och analysera tidigare uppmätta koncentrationer och flödesberäkningar mellan år 2018-2024. För att se långsiktiga förändringar har fåtal tillgängliga mätningar som genomförts i RE-PATH från 2009-2012 inkluderats. Det andra delsteget innebar att nya mätningar av PFAS gjordes vid två tillfällen under mars och april 2025, där tidigare mätpunkter inkluderades och ett antal nya tillades. Under dessa mättillfällen samt ytterligare ett tredje mättes vattenflödet vid provpunkterna för att möjliggöra massflödesberäkning i de olika delområdena (Figur 6).

Det tredje delsteget i metodiken för detta arbete innebar analys av de uppmätta halterna samt flödena kopplat till de delområden och verksamheter lokaliserade runt Märstaån. Detta för att kvantifiera belastningen av PFAS som kan påverka Mälarens vattenkvalitet negativt, och den dricksvattenverksamhet som finns belägen i Görvåln. En sammanfattning av metoden för arbetet finns i Figur 10, med mer ingående beskrivning nedan.



Figur 10: En översiktlig metodbeskrivning för arbetet och dess tre delsteg.

4.1 Avgränsningar

I den genomförda studien har ett antal avgränsningar gjorts. De delar av Märstaån som har studerats med avseende på både PFAS- koncentrationer och massflöde är de som enligt Länsstyrelsen klassificerats som vattenförekomst. Detta medför viss förenkling i kartläggning av mindre delflöden och deras potentiella belastning. De flöden som tagits i beaktning utgörs baserat på detta av Halmsjöbäcken, Kättstabäcken, Rosersbergsbäcken, Odensalabäcken och den sammanhängande Märstaån som mynnar i Mälaren. Urvalet av provpunkter har avgränsats till utloppet av dessa, med tillägg av uppströmspunkter till tidigare dokumenterat belastade delflöden. Ytterligare två provpunkter lades till i Erikssund och Stäket för att jämföra Märstaåns belastning i Mälaren med belastning som rinner vidare i Mälaren mot dricksvattenverket Görvålnverket.

Studiens har dessutom begränsats tidsmässigt för 2025 till mars och april. Den tidsgräns som satts med avseende på insamling av tidigare mätningar var för flöden till 2019 baserat på tillgängliga data. PFAS-data har undersökts sedan de första tillgängliga mätningarna 2009. Massflödesberäkningarna utgörs av de provtagningar som skett sedan 2021, efter den senaste massflödesberäkningen av Ejhed & Ekman (2023). De PFAS-ämnen som i studien undersökts är de 21 stycken som ingår i Σ_{21} PFAS och regleras av Livsmedelsverket i dricksvatten enligt LIVSFS 2022:12 (Livsmedelsverket 2024).

Därmed är inte ultrakorta PFAS eller övriga inkluderade i beräkningen av massflöden i den källspårning som gjorts i studien med avseende på potentiella bidragande objekt till PFAS-koncentrationerna, har urval gjorts baserat på Naturvårdsverkets EBH-karta kopplat till PFAS-risk på branschlistan. Detta medför att eventuella oidentifierade källor inte medtagits i analys över källspårning.

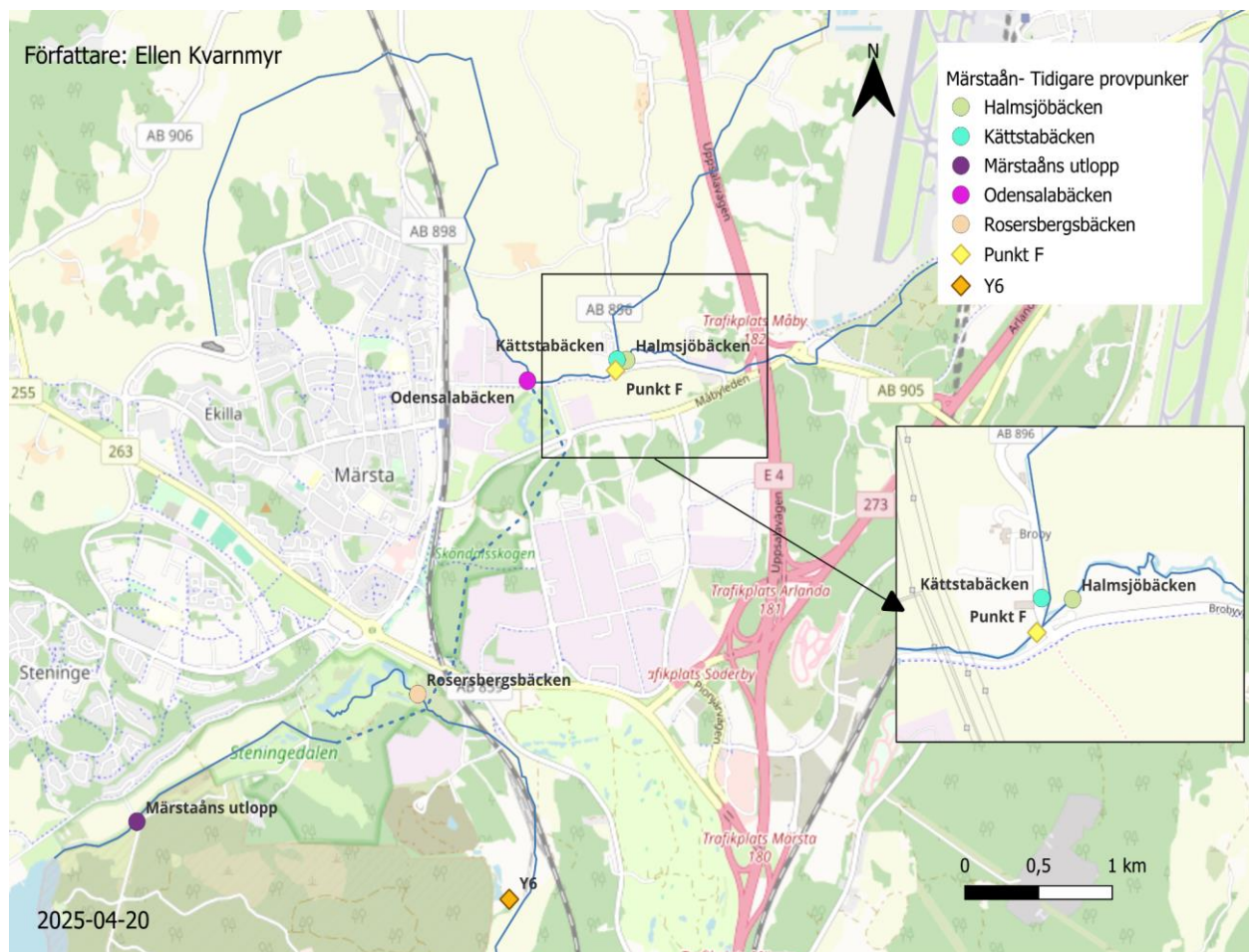
4.2 Sammanställning av tidigare data

4.2.1 Tidigare PFAS mätningar i Märstaån

Data från tidigare provtagningar av PFAS i Märstaån sammanställdes. Information om respektive provtagnings omfattning återfinns i Tabell 5. Placeringen av provpunkterna erhålls i Figur 11, där cirkulär symbol innebär provpunkt inkluderad i Märstaåns vattensamverkans årliga mätprogram.

Tabell 5: Tidigare data för provtagning av PFAS i Märstaån inkluderade i studiens analys.

Utförare av provtagning	Datum	Antal Provpunkter	PFAS provtaget
RE-PATH (IVL 2010)	2009-04-28 2009-06-05	1: Märstaåns utlopp	PFOA, PFOS
RE-PATH (IVL 2012)	2011-03-29 2011-12-01 2012-02-01	2: Punkt F Märstaåns utlopp	PFHxA, PFOA, PFHxS, PFOS, 6:2 FTS, PFOSA
(Länsstyrelsen 2022)	2019-02 2019-03 2021-11	1: Märstaåns utlopp	PFAS21
(Malnes et al. 2021)	2019-10-04 2020-04-17	1: Märstaåns utlopp	PFAS11
Märstaåns vattensamverkan (Länsstyrelsen 2022)	2023-03-21 2023-05-10 2023-08-09 2023-10-18	5: Märstaåns utlopp Rosersbergsbäcken Odensalabäcken Kättstabäcken Halmsjöbäcken	PFAS21
(Nguyen et al. 2022)	2013-02, 2013-04, 2013-05 2013-06, 2013-07, 2013-08 2013-09, 2013-11, 2013-12 2014-01 2014-02	1: Märstaåns utlopp	PFAS9
(Swedavia 2025) - Rådata	2021-2025	2: Punkt F Märstaåns utlopp	PFAS21 PFAS11



Figur 11: Tidigare provpunkter för provtagning av PFAS i Märstaån. Egen bearbetning i QGIS.
 Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

4.2.2 Tidigare flödesmätningar i Märstaån

Förutom tidigare PFAS- halter sammanställdes även genomförda flödesmätningar i Märstaån. Dessa har gjorts med begränsad geografisk omfattning kopplat till verksamheterna Brista Sigtuna återvinning, samt Arlanda flygplats. Information kring de tidigare mätningarna finns i Tabell 6. Data från Punkt F samt Skvalet har erhållits med dygnsuppmätta värden mellan 2021-2024, medan det i punkt RY0 gjordes mätningar vid fyra tillfällen kopplat till den publicerade provotidsredovisningen. Den kontinuerligt uppmätta datan tillhandahållen av Ragn-Sells och Swedavia har därmed använts till att undersöka trender och årlig variation, samt med hjälp av extrapolering även kunnat ge indikationer kring flöden i andra delar av Märstaån.

Tabell 6: Tidigare data över flödesmätningar i Märstaån inkluderade i studiens analys.

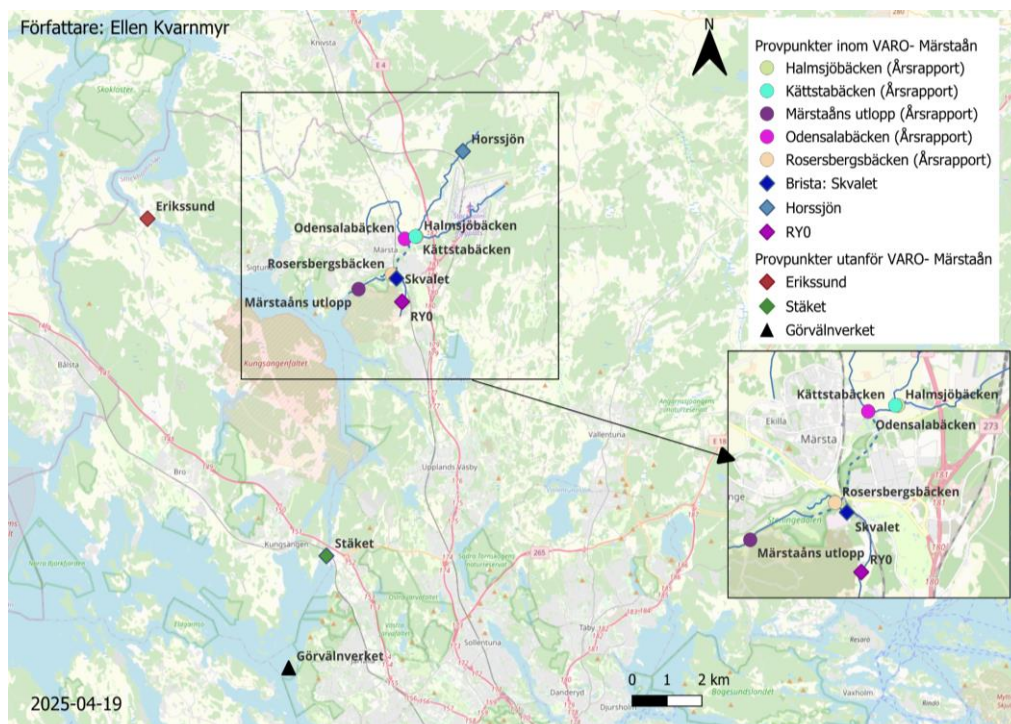
Utförare av provtagning	Datum	Mätområde
Prövotidsredovisning för Brista Sigtuna Återvinning AB (IVL 2022)	2020-03-10	Rosersbergsbäcken: Punkt "RY0"
	2020-11-11	
	2022-04-20	
	2022-05-31	
Ragn-Sells / Sigtuna Återvinning AB	Kontinuerliga flödesmätningar 2021-2024	Rosersbergsbäcken: Punkt "Skvalet"
Swedavia	Kontinuerliga flödesmätningar 2021-2024	Märstaån: Punkt "F"

4.3 Mätpunkter i Märstaån

De punkter som inkluderades i PFAS-provtagningarna samt flödesmätningarna under våren 2025 åskådliggörs i Figur 12. Urvalet av provpunkter byggde på ett flertal aspekter.

Tillgänglighet, rumslig variation och ytterligare studering uppströmpunkter till tidigare påtalade punktkällor utgjorde urvalsprocessens grunder. Länsstyrelsen genomförde under mars och april mätningar på uppdrag av Märstaåns vattensamverkan, och ansvarade för provtagning på de punkter markerade med cirkel i figuren, samma punkter som 2023.

Uppströmpunkter tillades till Arlanda samt Brista (punkt "Horssjön" respektive "RY0"). Inom avrinningsområdet lades även mätpunkten "Skvalet" till, Ragn-Sells utsläppspunkt i Brista. Syftet var att särskilja påverkan från Stockholm exergis anläggning "Bristaverket", där utsläppspunkten i Rosersbergsbäcken är placerad mellan Skvalet och mätpunkt "Rosersbergsbäcken". Slutligen togs även prover i Stäket, Erikssund, samt i Görvälnverkets råvatten vid båda provtagningsdatumen (Figur 12).



Figur 12: Undersökta provpunkter i Märstaån för PFAS-provtagning samt flödesmätning. Egen bearbetning i QGIS. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

4.4 Provtagning av PFAS

Provtagning av Σ_{21} PFAS utfördes vid samtliga provpunkter i Figur 12. Provtagningen utfördes på alla platser den 17-03-2025 samt 14-04-2025, med undantag för punkt RY0 som endast provtogs vid tillfället i mars på grund av begränsad åtkomst. Länsstyrelsen ansvarade för provtagning i punkter märkta med cirkel, och de ytterligare punkter som tillades gjordes inom ramen för detta projekt med stöd av Norrvatten samt Stockholm Vatten och Avfall. Två prov med 100 ml vardera togs på varje provplats med specialflaska för provtagning av PFAS. Provflaskorna sköljdes ur två gånger innan provtagning och vattenprov togs cirka 10 cm under vattenytan. Samtliga prov transporterades kylda och analyserades av Eurofins laboratorier.

4.5 Flödesmätningar

För att beräkna PFAS- massflödet i Märstaån kombinerades provtagning av PFAS-koncentration med flödesmätningar i ån. Flödesmätningar gjordes på plats, och undersöktes även med SMHI:s modell "S-HYPE" (SMHI 2025). För de flödesmätningar där resultatet från metoden presenterades i form av vattenhastighet och ej totalt vattenflöde tillämpades därmed Ekvation (1) för beräkning av totalt vattenflöde.

$$Q = A \times \underline{v} \quad (1)$$

Där $Q \left[\frac{m^3}{s} \right]$ är vattenflödet som passerar, $A \left[m^2 \right]$ är tvärsnittsarean i vattendraget, och $\underline{v}$ är ett medelvärde av flödes hastigheten $\left[\frac{m}{s} \right]$.

Den platsspecifika metoden för flödesmätning bestämdes baserat på de förutsättningar som fanns i de vattenflöden där vattenföringen kvantifierades. I de sju punkter där vattenflöde mättes varierade tvärsnittsarea och turbulens. De metoder för mätning av vattenflöde som användes var ADV (Acoustic Doppler velocimetry), ADCP (Acoustic Current Doppler Profiler) och flödesmätning med saltspädning. På samtliga platser mättes även vattenflöde i form av mätning med flottör vid ett mättillfälle för att inkludera i jämförelse.

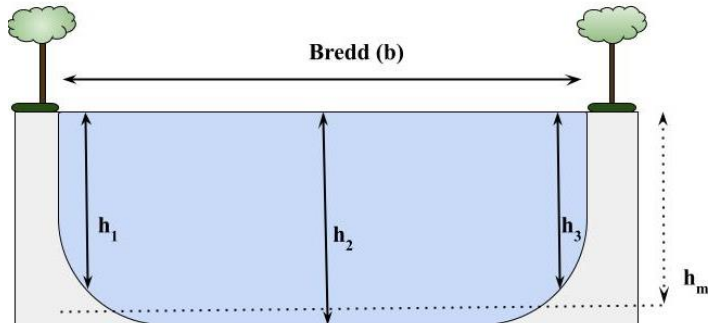
Mätning med ADCP användes i den del av vattendraget där tvärsnittsarean var tillräckligt stor för denna metod. ADV användes där vattenflödet var mer laminärt och saltspädning i de punkter som hade ett turbulent flöde. Under efterföljande flödesmätningar i april mättes samtliga punkter med ADV för att komplettera datamaterialet. I punkterna Skvalet samt Punkt F där kontinuerligt flöde registreras av Ragn-Sells respektive Swedavia erhöles även dessa för alla provdatum. I Tabell 7 presenteras den metod som användes i vardera mät punkt vid respektive provtillfälle. Illustration av tvärsnittsareor återfinns i Appendix D.

Tabell 7: Metoder för flödesmätningar i Märstaån vid respektive provtillfälle.

Datum	17-03-2025	08-04-2025	14-04-2025
Provplats			
Horssjön	ADV	ADV+ Mätning med flottör	ADV
RY0	ADV	-	-
Kättstabäcken	ADV	ADV+ Mätning med flottör	ADV
Halmsjöbäcken	Saltutspädning	ADV + Mätning med flottör	ADV
Odensalabäcken	ADV	ADV + Mätning med flottör	ADV
Rosersbergsbäcken	ADV	ADV + Mätning med flottör	ADV
Märstaåns utlopp	ADCP (S-HYPE)	ADCP + mätning med flottör (S-HYPE)	(S-HYPE)
Skvalet	Dygnsuppmätt data, delad av Ragn-Sells	←	←
Punkt F	Dygnsuppmätt data, delad av Swedavia	←	←

4.5.1 Mätning av tvärsnittsarea

Tvärsnittsarean på de olika provpunkterna beräknades genom att mäta vattendragets bredd b , samt höjder h_1 , h_2 och h_3 (Figur 13). Tvärsnittsarean (A) beräknades enligt Ekvation (2) och (3).



Figur 13: Visualisering av beräkningsmetod för tvärsnittsareor.

$$h_m = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \quad (2)$$

$$A = h_m \times b \quad (3)$$

4.5.2 Flödesmätning med ADV

En akustisk dopplermätare (ADV) tillämpades för fysiska flödesmätningar i vattenförekomsterna. Det mätinstrument som användes var av typen “SonTek Flowtracker Handheld-ADV”. Vid mätning fördes instrumentet ned i vattendraget på de punkter där h_1 , h_2 och h_3 uppmättes (Figur 14). För varje mätning summerade instrumentet ett medelvärde på en 60-sekunder lång mätserie. Ett medelvärde för respektive vattenflöde beräknades sedan utifrån de tre mätningarna.



Figur 14: Uppställning av flödesmätning med ADV i Kättstabäcken.

4.5.3 Flödesmätning med saltutspädning

Den andra metoden för fysiska flödesmätningar som användes var saltutspädning. Detta innebar att salt tillsattes till vattendraget vid en bestämd punkt, 20 meter nedströms mättes därefter konduktiviteten i vattnet. Då det saltutspädda vattnet sedan passerade denna mätpunkt gavs utslag på konduktivitetmätaren på grund av den ökade jonkoncentrationen, vilket möjliggjorde beräkning av vattnets flödes hastighet. Mängden salt som tillsattes baserades på vattenflödets bredd och var i Halmsjöbäcken där metoden användes 900g, mättiden var 30 minuter från tillsats.

För beräkning av vattnets flödes hastighet baserat på mängd tillsatt salt användes Ekvation (4).

$$Q = \frac{S}{Cal \times \int (C_{(t)} - C_{(0)}) \cdot dt} \quad (4)$$

S är mängd tillsatt salt [kg], Cal kalibreringsfaktorn som kopplar konduktivitet till koncentration och $C_{(t)}$ samt $C_{(0)}$ är koncentrationer vid viss tid t samt, vid $t=0$ [kg/m^3].

4.5.4 S-HYPE

S-HYPE är en hydrologisk modell som upprättats av SMHI i syfte att tillgängliggöra och modellera data för hydrografi, statistik och flöden (SMHI 2024). Beräkningsmodellen används för områden definierade i Svenskt vattenarkiv och presenterar modellerade data samt prognos tio dagar framåt (SMHI 2025). SMHI har ej fysiska mätstationer i Märstaån, den data som fanns att tillgå var modellerade data i S-HYPE från åns utlopp. I modellen hämtades data för såväl vattenflöde per dygn som årsmedel mellan 1991-2023 (SMHI 2025).

4.5.5 Extrapolering av årsmedelflöde

I mätpunkt "Skvalet" i Rosersbergsbäcken, och "Punkt F" i sammanslutningen av Halmsjöbäcken och Kättstabäcken har dygnsmedelvärden registrerats under perioden 2021-2024. Utöver dessa serier har modellerade data från SMHI inkluderats. För att uppskatta årsmedelflödet Q vid övriga provpunkter (där inga kontinuerliga mätningar finns) har en extrapolering tillämpats. Extrapoleringen bygger på resonemang av Robertson et. al (2022), med skillnad att det är vattenföringen Q som extrapoleras och inte PFAS-belastningen, detta då provtagning av PFAS har gjorts i samtliga studerade punkter. Beräkningarna erhålls i Ekvation (5), och bygger på viktade medelvärden av de tre referensflödena, med hänsyn till den relativa avvikelsen för respektive flöde.

$$Q_{total,punkt} = \frac{Q_{Skvalet} \times (r_{skvalet}) + Q_{Punkt F} \times (r_{Punkt F}) + Q_{S-HYPE} \times (r_{S-HYPE})}{3} \quad (5)$$

$Q_{total,punkt}$ är skattat årsflöde i avsedd mätpunkt [$\text{m}^3/\text{år}$], $Q_{skvalet}$, $Q_{Punkt F}$, Q_{S-HYPE} är totalt årligt medelflöde mellan 2021-2024 [$\text{m}^3/\text{år}$]. Variabler $r_{skvalet}$, $r_{Punkt F}$ och r_{S-HYPE} är medelvärden över den relativa avvikelsen för mätpunkten jämfört mot referenspunkterna under de tre mättillfällena våren 2025. Respektive variabler r_{ref} har för samtliga provpunkter beräknats enligt Ekvation (6):

$$r_{ref} = \frac{(\frac{Q_{ref1}}{Q_{p1}} + \frac{Q_{ref2}}{Q_{p2}} + \frac{Q_{ref3}}{Q_{p3}})}{3} \quad (6)$$

Där r_{ref} är konstanten av medelration mellan provpunkt och referenspunkt, och Q_{refx} samt Q_{px} är uppmätt $Q [\frac{l}{s}]$ vid mättillfällena 17-03-2025, 08-04-2025 och 14-04-2025.

Baserat på extrapoleringen beräknades ett årligt flöde från de tre mättillfällena som gjordes under våren. En kombination av Skvalet, Punkt F och S-HYPE i utloppet som referenspunkter valdes i syfte att inkludera eventuella lokala variationer och hydrologiska tendenser, samt minska påverkan från mätfel.

4.6 Massflödesberäkningar

Metoden för massflödesberäkning som tillämpades är den metod som användes för motsvarande beräkning i tidigare sammanställning (Ejhed & Ekman 2023). Det återges i Ekvation (7):

$$\dot{m} [\frac{kg}{år}] = Q [\frac{m^3}{år}] \times c_{medel} \frac{kg}{m^3} \quad (7)$$

$Q [\frac{m^3}{år}]$ motsvarar den uppskattade årliga vattenföringen från respektive provpunkt beräknad ur Ekvation (5). För de provpunkter där Q mäts kontinuerligt har uppmätt årligt medelvärde för studerade år tillämpats. Vidare är c_{medel} uppmätt medelkoncentration PFAS $[\frac{ng}{l}]$ under samtliga mättillfällena, omräknad till $\frac{kg}{m^3}$ med Ekvation (8):

$$c_{medel} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}{n} [\frac{ng}{l}] \times (10^{12} \times 1000) [\frac{kg}{ng} \times \frac{l}{m^3}] \quad (8)$$

För PFAS-ämnen under detektionsgränsen har värdet satts till detektionsgränsen. Osäkerheter tillhörande Ekvation (7) beräknades ur Ekvation (9). Beräknad $u_{\dot{m}}$ innebär absolut osäkerhet för massflödet beräknat utifrån de absoluta osäkerheterna u_q och u_c för flödet respektive koncentrationen.

$$u_{\dot{m}} = \dot{m} \times \sqrt{(\frac{u_q}{Q})^2 + (\frac{u_c}{c})^2} \quad (9)$$

5. RESULTAT

5.1 PFAS-koncentrationer i Märstaån

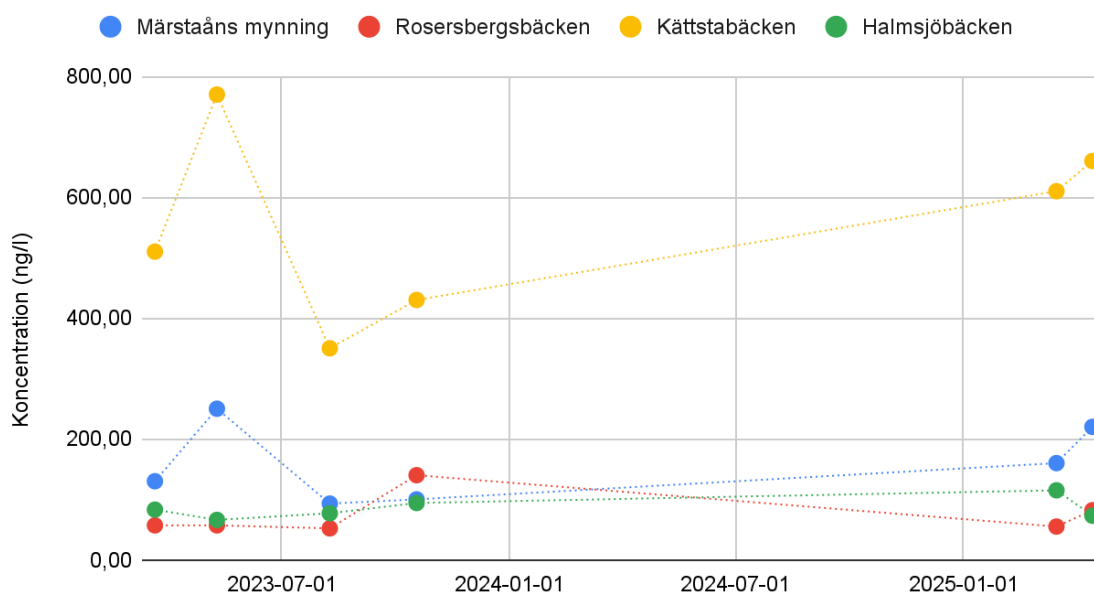
Nedan återfinns resultat av tidigare samt nya mätningar av PFAS-koncentrationer i Märstaåns vattenförekomster. Med avseende på att fokus i detta projekt är på PFAS av stor risk för spridning i ytvatten är resultaten baserade på kategorisering presenterad i Tabell 2.

Inkluderade PFAS- ämnen är följaktligen perfluorerade icke-polymera PFAA (perfluorerade alkylsyror), med specificerad uppdelning i långa och korta PFCA/PFSA, samt “övriga”.

Fullständiga tabeller över mätningarna presenteras i Appendix E. PFAS-koncentrationerna presenteras uppdelade i PFSA, PFCA och övriga ämnen inom Σ_{21} PFAS, samt med grafer över variation mellan olika mättillfällen.

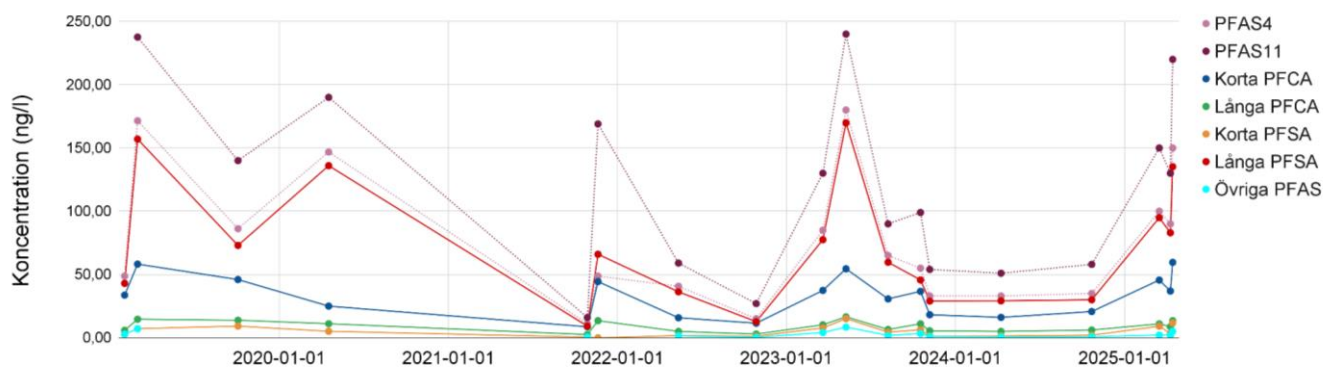
5.1.1 Översikt av PFAS halter i Märstaån

Figur 15 visar koncentrationen av Σ_{21} PFAS i samtliga mätpunkter, där nya mätningar har kompletterat tidigare data. Resultaten visar på variationer i koncentration för respektive vattendrag under den studerade tidsserien. Figuren visar även på att de högsta koncentrationerna vid samtliga mättillfällen har uppmätts i Kättstabäcken, och de lägsta i Odensalabäcken.



Figur 15: Koncentration av Σ_{21} PFAS mellan 2023-2025 i Märstaåns vattenförekomster.

Vidare synliggörs i Figur 16 resultat över PFAS- sammansättningen för Märstaåns utlopp mellan 2019-2025, den tidsserie där PFAS21 uppmätts i punkten. Samtliga PFAS- grupper följer samma mönster i variation, med högsta halter uppmätta i maj 2023. Från resultaten syns avtagande koncentrationer under 2024, med stigande halter under de mätningar som gjorts under 2025.



Figur 16: Resultat av PFAS-mätningar i Märstaåns utlopp 2019-2025

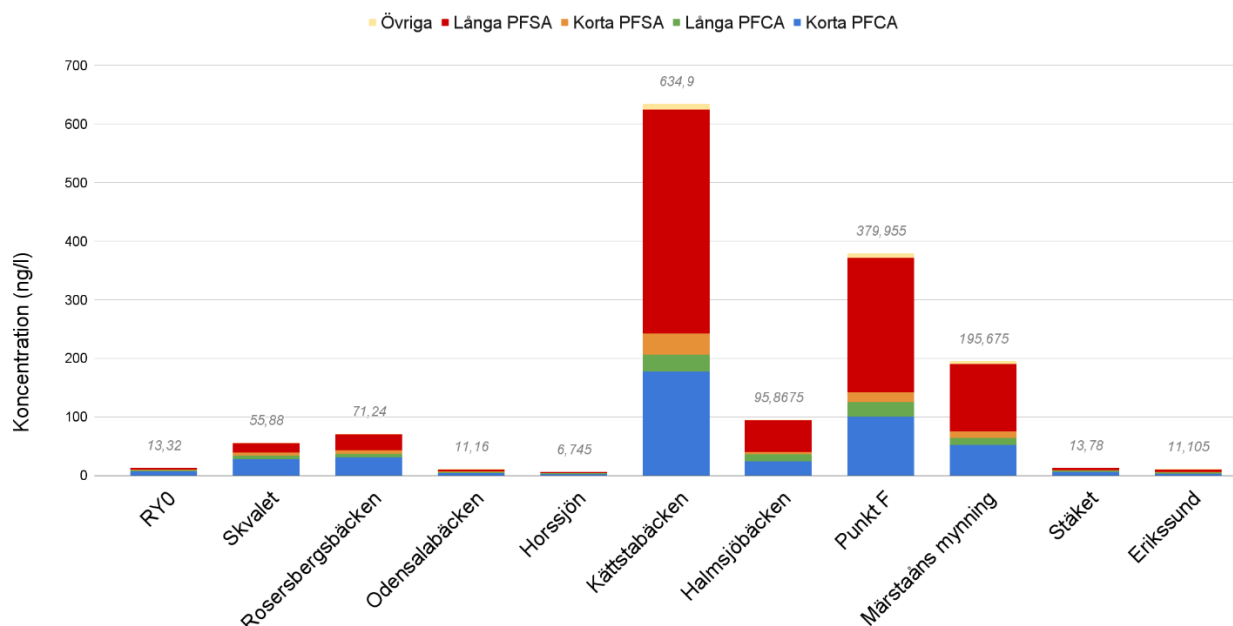
För Märstaåns utlopp återfinns mätningar för PFOS samt PFHxS från 2009-2025 (Figur 17). Figuren visar på stora variationer i de tidiga provtagningarna, med de högsta halterna av båda PFAS-ämnena uppmätta under maj 2013. Säsongsvisa variationer syns i figuren mellan 2020-2025, och de följer samma fluktuation som övriga PFAS (Figur 16), med låga värden under 2024 och en ökning till våren 2025.



Figur 17: Resultat av PFOS & PFHxS- koncentrationer i Märstaåns utlopp 2009-2025

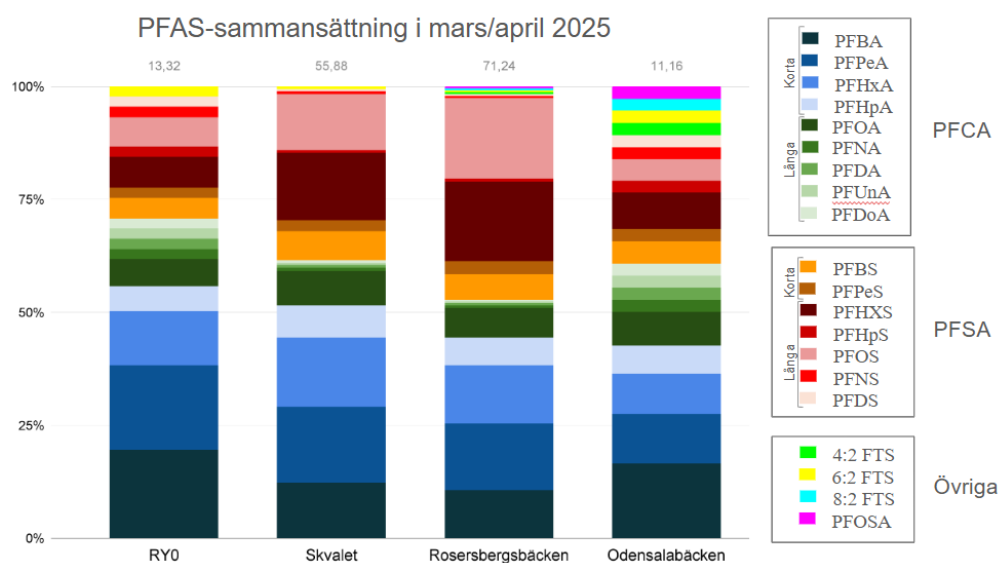
För samtliga mätpunkter har sammansättningen PFAS studerats för mättillfällena under våren 2025. I Figur 18 presenteras alla provplatser, följt av ytterligare visualiseringar av PFAS-profilerna i Figur 19-21. PFAS-profilerna bygger på kategorisering av långa/korta PFCA och PFSA, samt övriga inom PFAS21. Resultatet utgår från medelvärden av de två mättillfällena för respektive provplats av Σ_{21} PFAS. Totalkoncentration Σ_{21} PFAS är noterat i grått ovanför respektive stapel i samtliga figurer.

Ur Figur 18 synliggörs att det är i Kättstabäcken, Punkt F Märstaåns utlopp och Halmsjöbäcken som de högsta halterna PFAS uppmättes. I referenspunkterna samt övriga punkter är PFAS koncentrationerna jämförelsevis låga (<15 ng/l Σ_{21} PFAS), med undantag för Rosersbergsbäcken och Skvalet där PFAS- belastning kan utläsas.



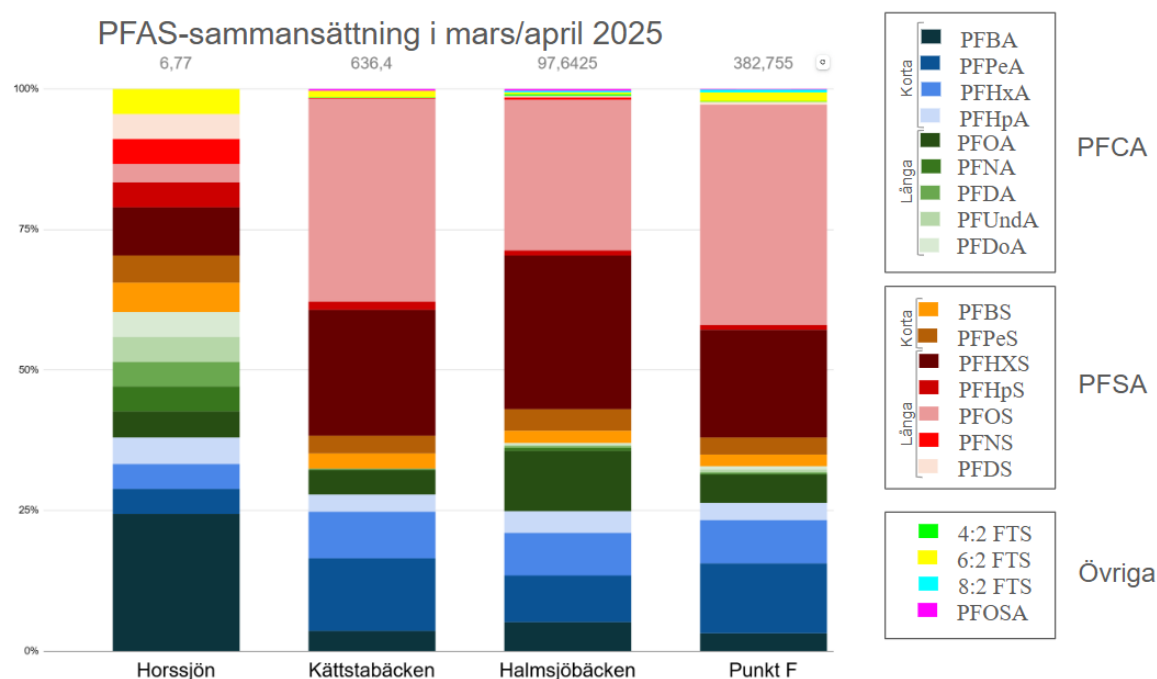
Figur 18: Medelvärde av PFAS-sammansättningen i samtliga provpunkter under mars/april 2025, inklusive totalsumma Σ_{21} PFAS i ng/l i grått.

Medelvärdet av PFAS- sammansättningen i mars och april 2025 visar på tilltagande koncentrationer i Rosersbergsbäcken för punkt Skvalet och punkt ”Rosersbergsbäcken” jämfört med referenspunkt RY0 (Figur 19). Sammansättningen skiljer sig fortsatt, med dominerande PFCA i RY0, och med stigande koncentrationer PFSA vid nedströmspunkterna. I Odensalabäcken erhålls en lägre koncentration, med en spridd PFAS- profil.



Figur 19: Medelvärde av PFAS-sammansättningen i punkt RY0, Skvalet, Rosersbergsbäcken, och Odensalabäcken inklusive totalsumma Σ_{21} PFAS i ng/l i grått.

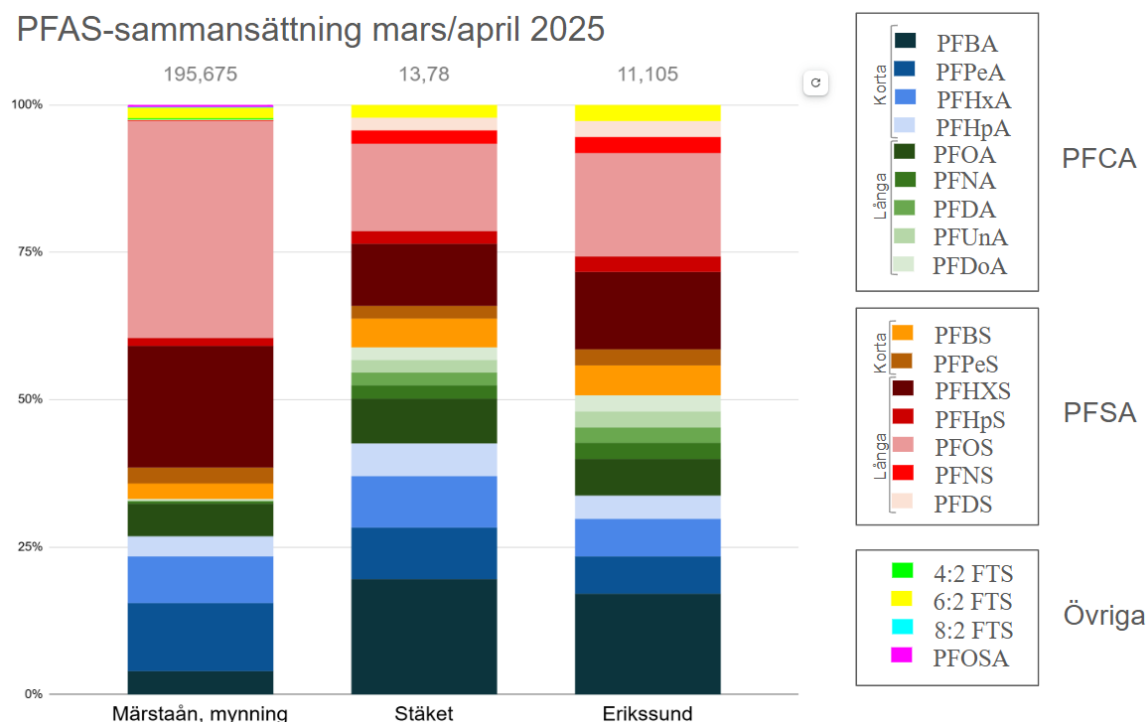
I Figur 20 framgår det att det i Kättstabäcken och Halmsjöbäcken uppmättes höga koncentrationer PFSA av framförallt typen PFOS och PFHxS. Detta speglas även i Punkt F, där sammanflödet av vattnet från de två delavdragen resulterat i en medelhalt på cirka 380 ng/l Σ_{21} PFAS. Horssjön som är en referenspunkt till Arlanda-området påvisade förhållandevis låga halter PFAS av samtliga grupper, med en totalhalt Σ_{21} PFAS på 6,77 ng/l vid mättillfällena.



Figur 20: Medelvärde av PFAS-sammansättningen i PFAS i Horssjön, Kättstabäcken, Halmsjöbäcken och Punkt F, inklusive totalsumma Σ_{21} PFAS i ng/l i grått.

PFAS- sammansättningen i Märstaåns mynning, Stäket och Erikssund utläses ur Figur 21. Figuren visar på höga halter i Märstaåns mynning, totalt närmare 200 ng/l i medel under avsedd tidsperiod. Sammansättningen utgörs till majoriteten av långa PFSA, där PFOS och PFHxS står för de högsta koncentrationerna. I Stäket och Erikssund, punkter norr om Märstaån i Mälaren, är sammansättningen PFAS mer spridd, och PFCA står för majoriteten av uppmätt PFAS vid båda provpunkter.

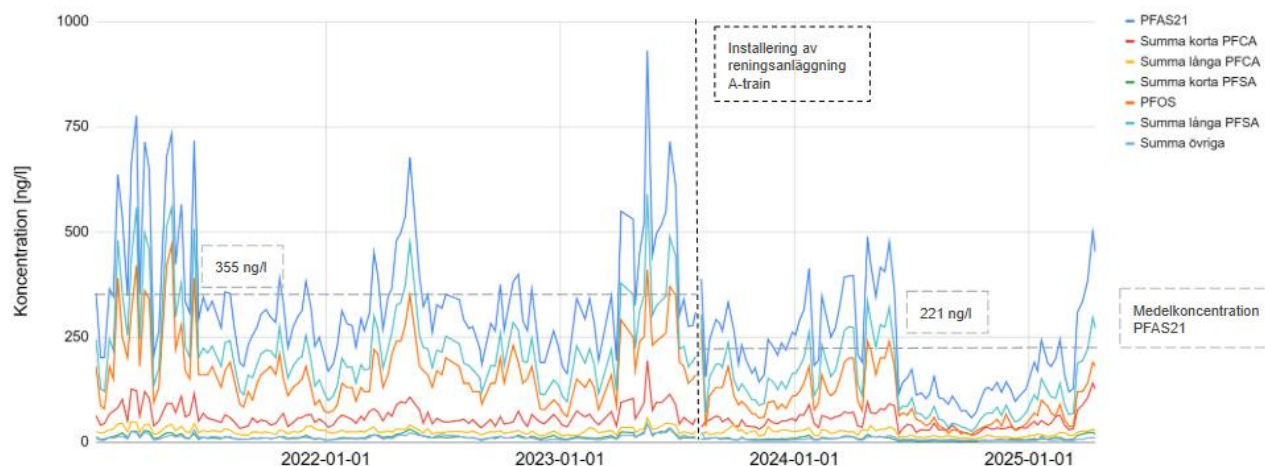
PFAS-sammansättning mars/april 2025



Figur 21: Medelvärde av PFAS-sammansättningen av PFAS i Märstaåns utlopp, Stäket och Erikssund

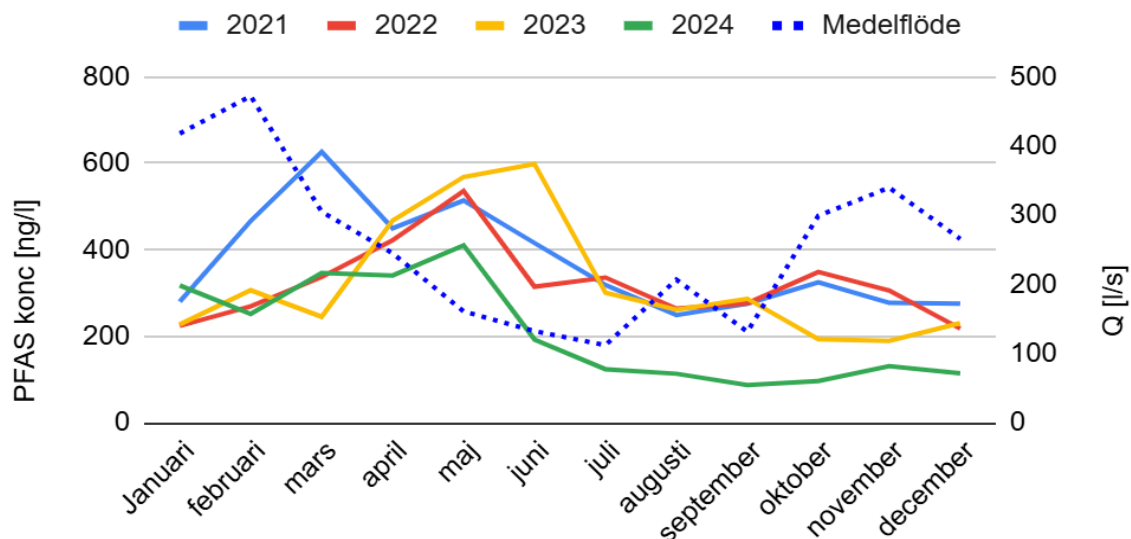
5.1.2 PFAS i Punkt F

I Punkt F där Swedavia gjort PFAS-mätningar kontinuerligt har vidare presentation av variationen av PFAS möjliggjorts. I Figur 22 syns koncentrationerna PFAS som uppmätts i Punkt F mellan 2021-2025 (se Appendix E för årlig variation). Liknande årsvisa trender, med stigande halter under våren för samtliga PFAS under tidsperioden visas i figuren. Markering har gjorts för när reningsanläggningen A-train installerades, och avtagande halter kan utläsas efter detta, med färre höga toppar. Medelvärdet för koncentrationen Σ_{21} PFAS är från installationen cirka 38 % lägre, dock med noterbar ökning i februari 2025.



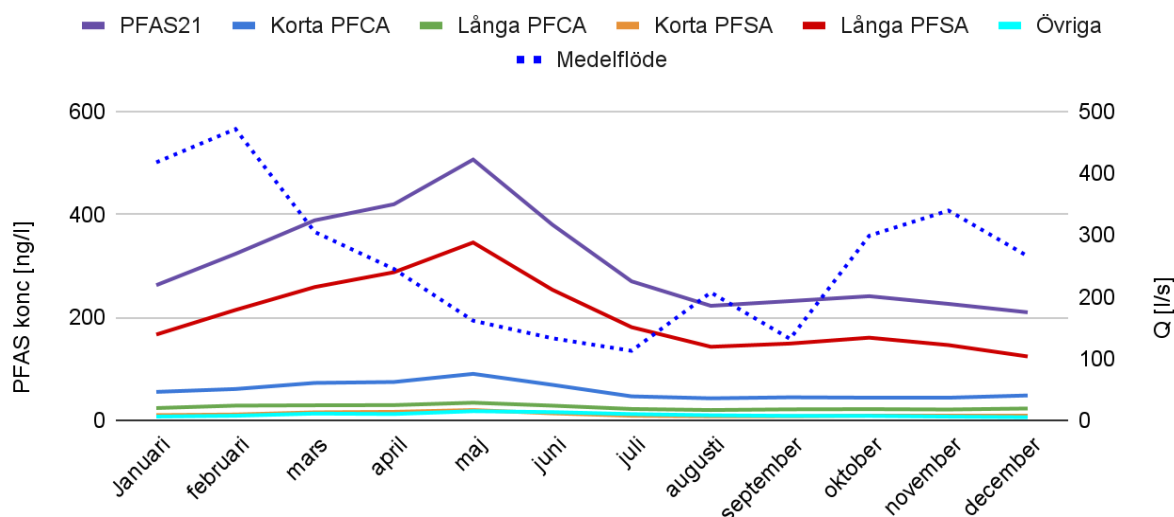
Figur 22: Koncentrationer av PFAS i Punkt F 2021-2025. Data tillhandahållen från Swedavia.

I Figur 23 presenteras ett medelvärde över den månadsvisa variationen av Σ_{21} PFAS årligen, följt av ett medelvärde för olika PFAS-gruppers variation över ett år (Figur 23). Ur Figur 23 kan återigen säsongsviss variation, med höga halter under vår/sommar identifieras, med vissa skillnader mellan åren. Högst medelhalter uppmättes juni 2023 (cirka 600 ng/l), och lägst i september 2024 (cirka 90 ng/l). Uppmätt medelflöde Q för varje månad 2021-2024 visas också i figuren, där grafen visar på högst flöde under våren och lägst i medel under månaderna juni-juli.



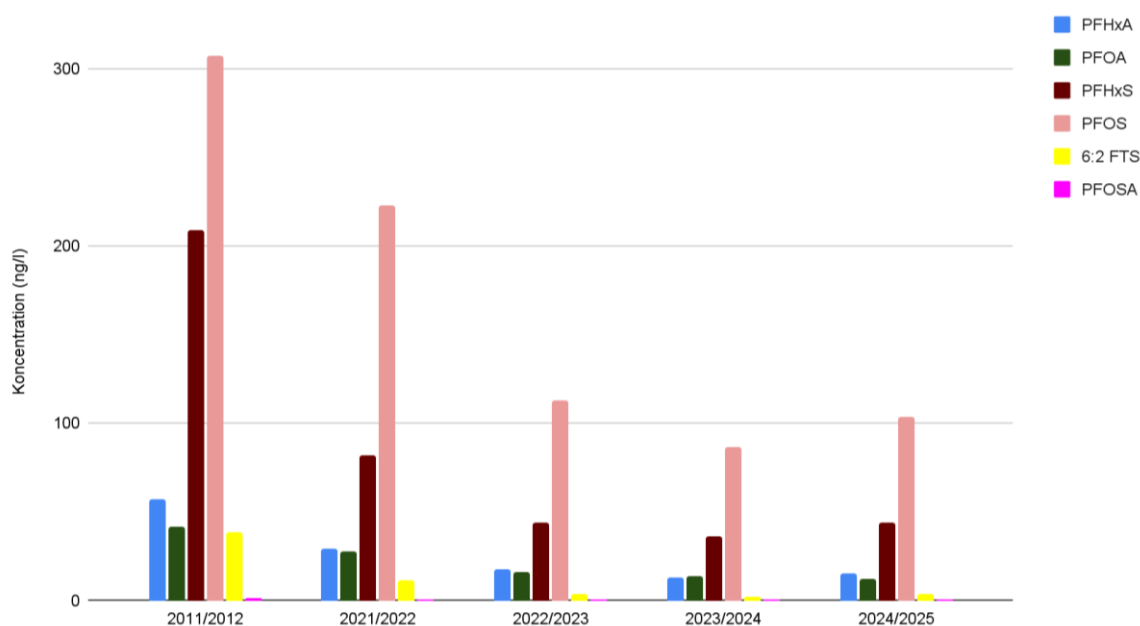
Figur 23: Årlig variation i koncentration av Σ_{21} PFAS baserade på veckouppmätta värden i Punkt F 2021-2024. Data tillhandahållna från Swedavia.

Liknande årsvisa variationer kan för de olika PFAS-grupperna konstateras baserat på Figur 24. Samtliga PFAS-grupper följer den variation noterad för Σ_{21} PFAS, med högst halter uppmätta i maj (500 ng/l), och utan tydliga fluktuationer för resten av året.



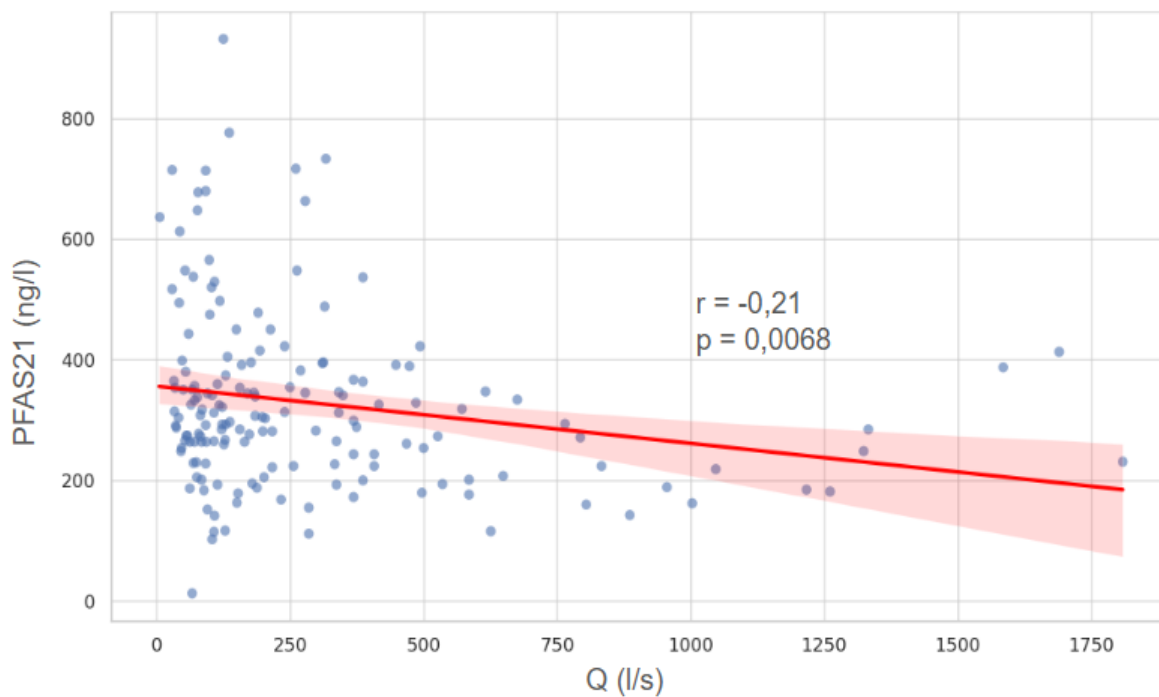
Figur 24: Årlig variation i samtliga PFAS grupper, baserad på veckouppmätta värden i Punkt F 2021-2024. Data tillhandahållna från Swedavia

Slutligen visas i Figur 25 en jämförelse av de halter som inom projektet RE-PATH uppmättes under tre mätningar i mars/november och februari under åren 2011-2012. Dessa jämförs med motsvarande PFAS-ämnen uppmätta under samma veckor 2021-2025. Ur figuren syns avtagande halter jämfört med de uppmätta inom RE-PATH 2011/2012. Exempelvis PFOS-halterna var i medel 2011/2012 över 300 ng/l och hade under säsongen 2024/2025 sjunkit till cirka 100 ng/l. Den avtagande trenden var störst fram till och med 2023, där utifrån figuren en ökning av PFOS är noterbar för säsong 2024/2025 jämfört med mätåret tidigare.

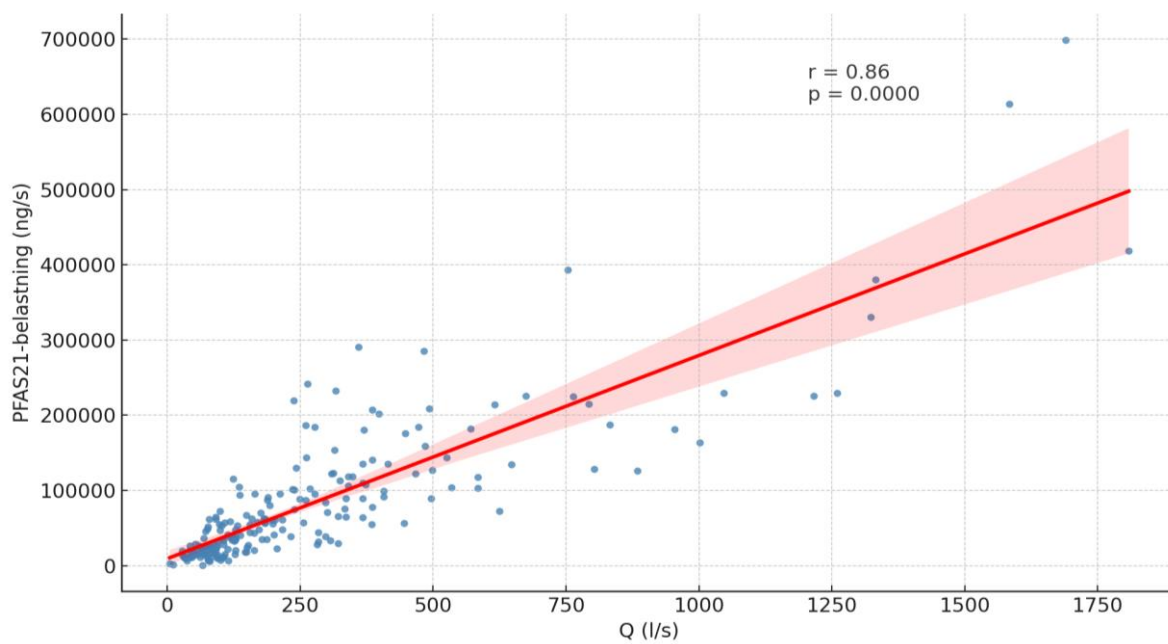


Figur 25: Medelvärden för ett antal givna PFAS i Punkt F, med data 2011-2012 från IVL, samt 2021-2025 från Swedavia. Värden är medelvärden av koncentrationer erhållna i mars, november och februari för respektive tidsperiod.

Baserat på den data som tillhandahållits av Swedavia har ett antal korrelationer undersökts. I Figur 26 visualiseras korrelationsanalysen mellan PFAS och vattenföringen från veckovisa mätningar i Punkt F mellan 2021- 2025. I figuren syns en svag negativ korrelation, vilket indikerar viss effekt av spädning vid höga Q. I Figur 27 har Σ_{21} PFAS – belastningen (koncentration x vattenföring) framställts som funktion av vattenföringen, och en hög korrelation ($r=0,86$) kan utläsas. Slutligen presenteras korrelationsanalys mellan TOC, PFAS och vattenföring i Figur 28.

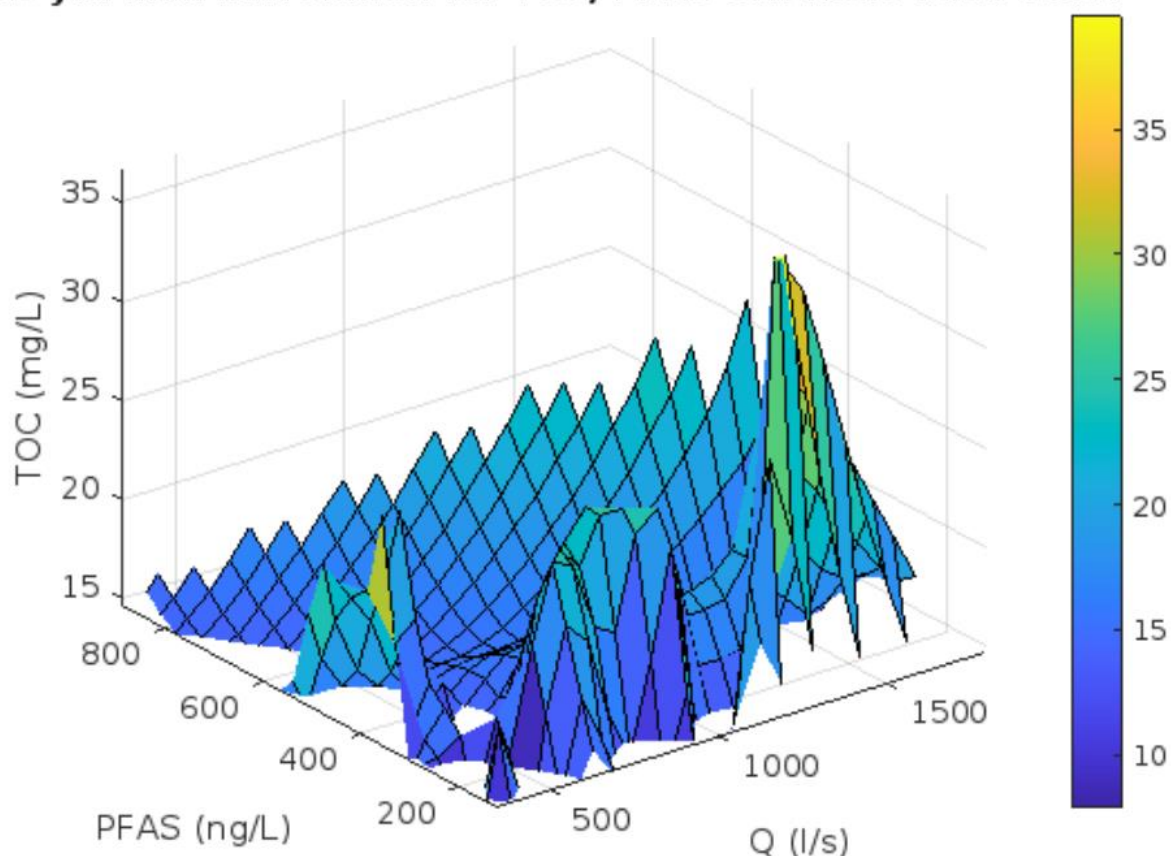


Figur 26: Korrelation mellan veckovis uppmätta koncentrationer $\Sigma 21$ PFAS och vattenföring i Punkt F 2021-2025.



Figur 27: Korrelation mellan veckovis uppmätt PFAS-belastning och vattenföring i Punkt F 2021-2025.

3D yta med korrelation för TOC, PFAS och flöde 2021-2024



Figur 28: PFAS, Q och TOC värden i Punkt F 2021-2025 i 3D- yta.

5.2 Flödesmätningar

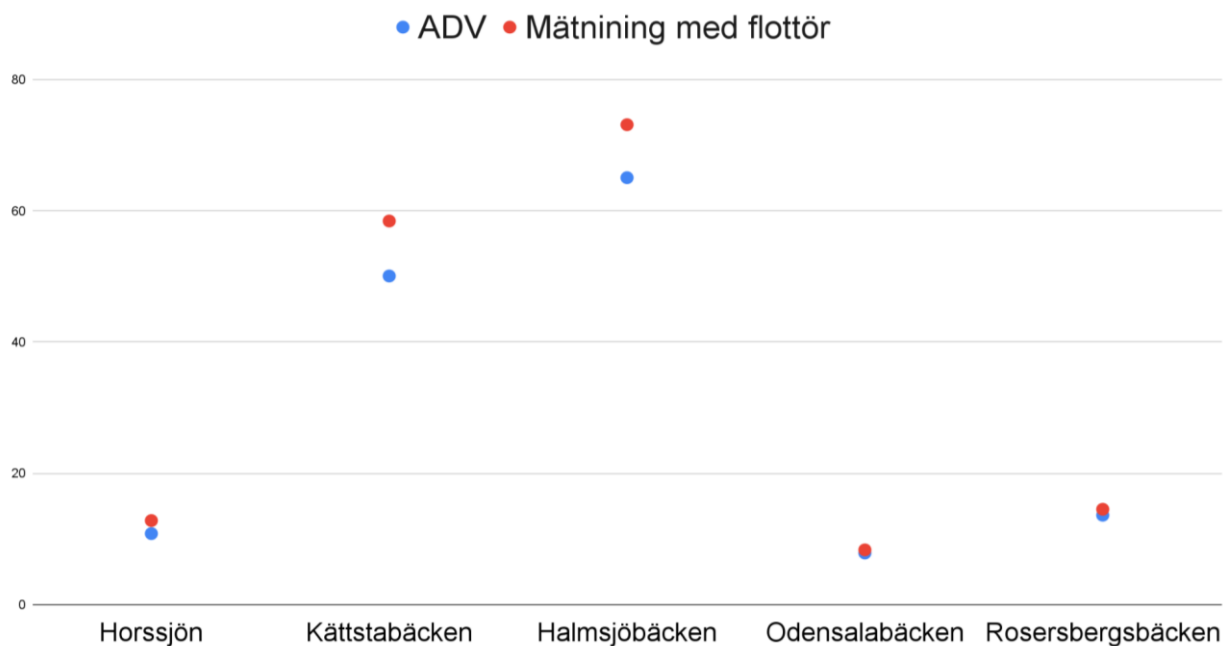
5.2.1 Fysiska flödesmätningar

Mätningar av tvärsnittsareor baserades på Ekvation (2) och (3) där medelhöjd samt bredd multiplicerats. I Appendix D presenteras redovisning av tvärsnittsarea för samtliga mätpunkter. Resultat från de flödesmätningar som gjordes mars- april 2025 presenteras i Tabell 8. Ytterligare detaljer från flödesmätningarna fås i Appendix D. För Märstaåns utlopp presenteras resultat uppmätt med ADCP samt via S-HYPE, högre värden uppmättes jämfört med SMHI.s modellerade.

Tabell 8: Resultat av flödesmätningar i samtliga provpunkter 2025.

Datum	17 Mars	8 April	14 April
Provplats	Vattenföring $Q \left[\frac{L}{s}\right]$	Vattenföring $Q \left[\frac{L}{s}\right]$	Vattenföring $Q \left[\frac{L}{s}\right]$
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	$12,65 \pm 1,008$	$10,82 \pm 0,951$	$8,43 \pm 0,3536$
RY0 (Brista uppströms)	$6,50 \pm 0,336$	-	-
Kättstabäcken	$82,60 \pm 4,029$	$50,087 \pm 2,37$	$30,13 \pm 1,364$
Halmsjöbäcken	$86,00 \pm 9,83$	$65,07 \pm 3,64$	$47,61 \pm 0,617$
Odensalabäcken	$12,53 \pm 0,336$	$7,859 \pm 0,4203$	$6,022 \pm 0,557$
Rosersbergsbäcken	$25,48 \pm 3,47$	$13,62 \pm 3,107$	$12,012 \pm 0,539$
Märstaåns utlopp ADCP	$228,00 \pm 54$	$102 \pm 14,3$	-
Märstaåns utlopp S-HYPE	220 ± 77	80 ± 28	$70 \pm 24,5$

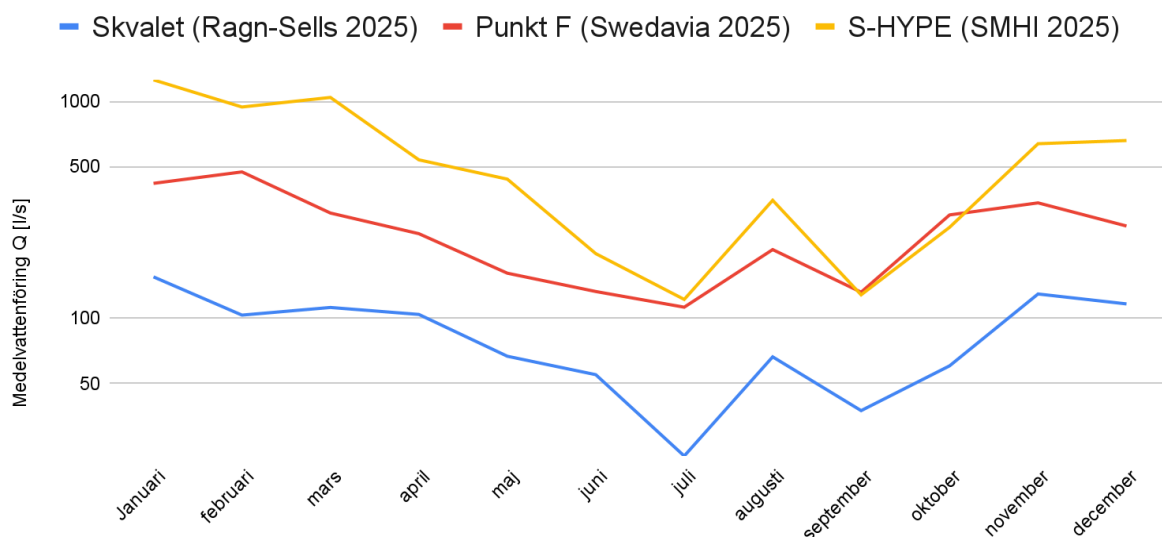
Vid mättillfället 8 april utfördes samtliga mätningar, med undantag för mätningen vid åns, utlopp med ADV. Figur 29 visar en jämförelse av dessa mätningar mot flottörmätningar som gjordes vid samma tillfälle. Resultatet innebär ett generellt högre resultat på 12,2% vid mätning med flottör ("apelsinmetoden").



Figur 29: Jämförelse av resultat från mätning med flottör mot mätning ADV 8/4-2025.

5.2.2 Interpolerade vattenföringar

Från SMHIs modell S-HYPE beräknades resultaten för hydrologiska värden för vattenföringen i Märstaåns utlopp. I Figur 30 presenteras medelvärdet av den årliga vattenföringen för Märstaåns utlopp enligt S-HYPE, samt för Skvalet och Punkt F som uppmätts. Sammanställda data från S-HYPE återfinns i Appendix B. I figuren syns att variationen för samtliga referenspunkter följer liknande variation, med höga halter under tidigt vår i samband med snösmältning, och med minimumvärden i juli och september.

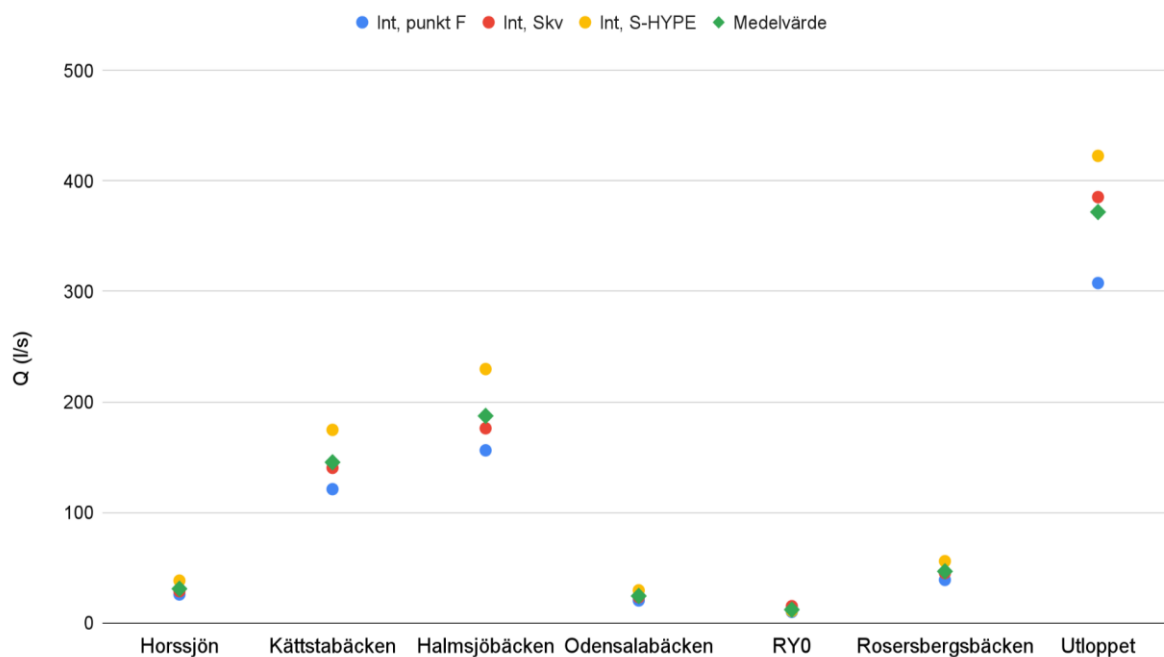


Figur 30: Sammanställd årsvariation för Märstaåns utlopp i S-HYPE, jämfört med uppmätta årsmedel i Punkt F och Skvalet.

Genom interpolering och viktning av data från Skvalet, Punkt F och S-HYPE har en årlig medelvattenföring för studerade delar av Märstaåns beräknats (Tabell 9). I Tabellen presenteras även specifik avrinning ($l/s/km^2$), det vill säga kvoten mellan vattenföringen och delavrinningsområdets area. I Figur 31 visas spridningen i medelvattenföringen för de olika referenspunkterna som grund för extrapolering. För ytterligare information kring beräkningar, se Appendix C. I Figur 31 syns att högst beräknade värden för vattenföringen fick i Märstaåns utlopp, Halmsjöbäcken och Kättstabäcken.

Tabell 9: Flödesmätningar i Punkt F och Skvalet under avsedda mätdatum..

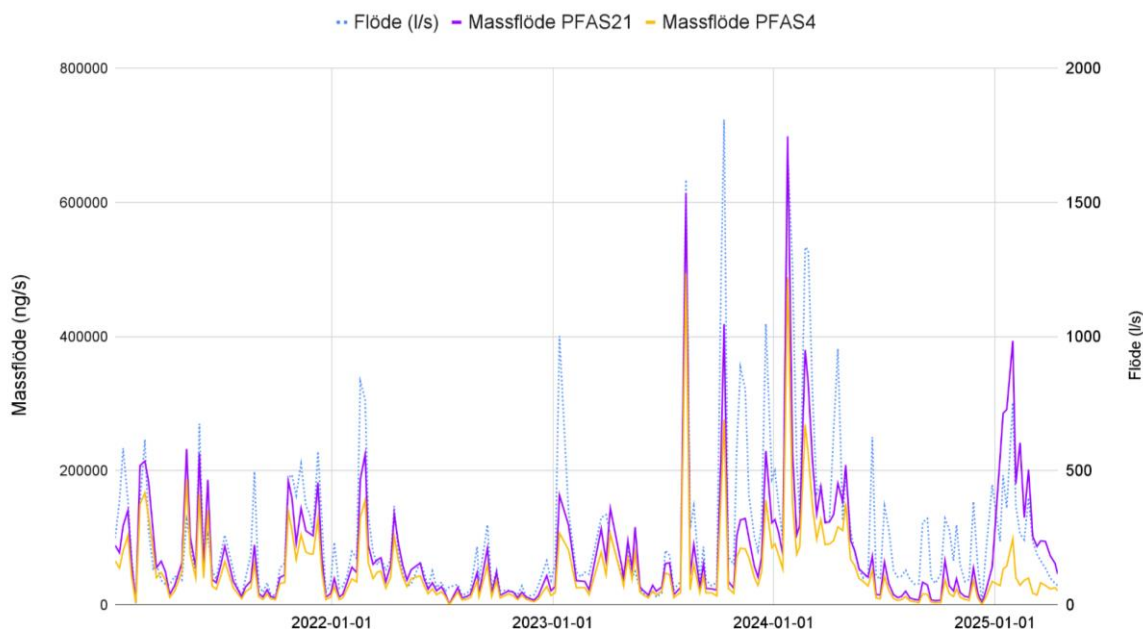
Provplats	Extrapolerad årlig medelvattenföring $Q \left[\frac{l}{s} \right]$	Extrapolerad årlig specifik avrinning [$\frac{l/s}{km^2}$]
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	38	-
RY0 (Brista uppströms)	14	-
Kättstabäcken	175	10,60
Halmsjöbäcken	227	11,99
Odensalabäcken	29	1,051
Rosersbergsbäcken	56	4,784
Märstaåns utlopp	446	4,76 (Totalt i hela avrinningsområdet)



Figur 31: Årliga medelvattenföringen från samtliga mätpunkter med interpolering med olika referensflöden.

5.3 Massflöde

I Punkt F har massflödet baserat på tillhandahållen sammanställts för januari 2021- april 2025 (Figur 32). I figuren synliggörs en variation, med höga värden dokumenterade under framförallt 2024, starkt korrelerade till de höga flöden som mättes i punkten samma år.

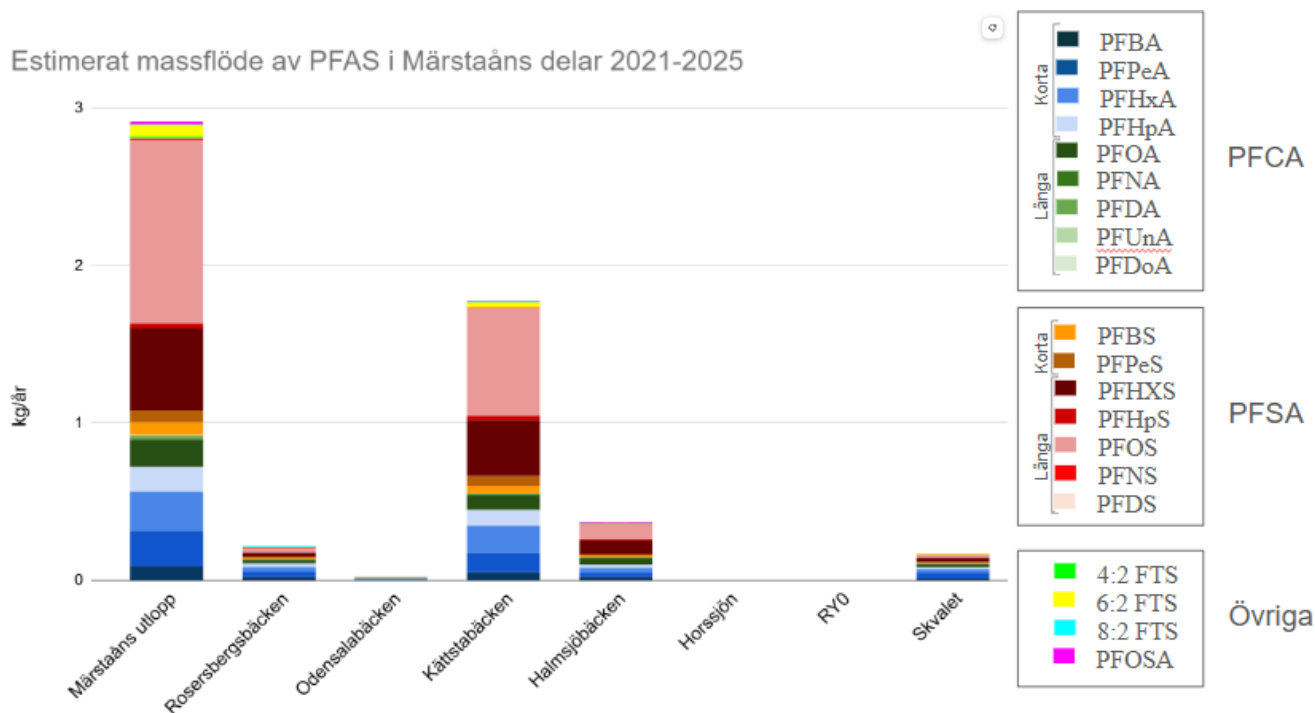


Figur 32: Massflöde i Punkt F 2021-2025, data tillhandahållen av Swedavia.

De beräkningar som gjorts på övriga delar i Märstaån baseras på de PFAS halter som uppmätts, samt med tidigare data från de flödesmätningar som gjorts vid de tre mättillfällena. Medelvärde av massflödet vid de tillgängliga mätvärdena har resulterat i beräkningar av årliga massflödet av PFAS enligt Tabell 10. Denna fördelning åskådliggörs i Figur 33, ämnesspecifikt massflöde återges i Appendix F. I figuren syns att det högsta beräknade massflödet fås ur Märstaåns utlopp (totalt 2,8 kg), följt av Kättstabäcken (1,8 kg). Liknande profiler synliggörs för de två provpunkterna, med dominerande mängd PFOS, följt av PFHxS. Ytterligare beräkningar för PFAS4 och PFAS21 baserat på delavrinningsområdets storlek finns i Appendix F.

Tabell 10: Massflöde av olika PFAS grupper i VARO Märstaån

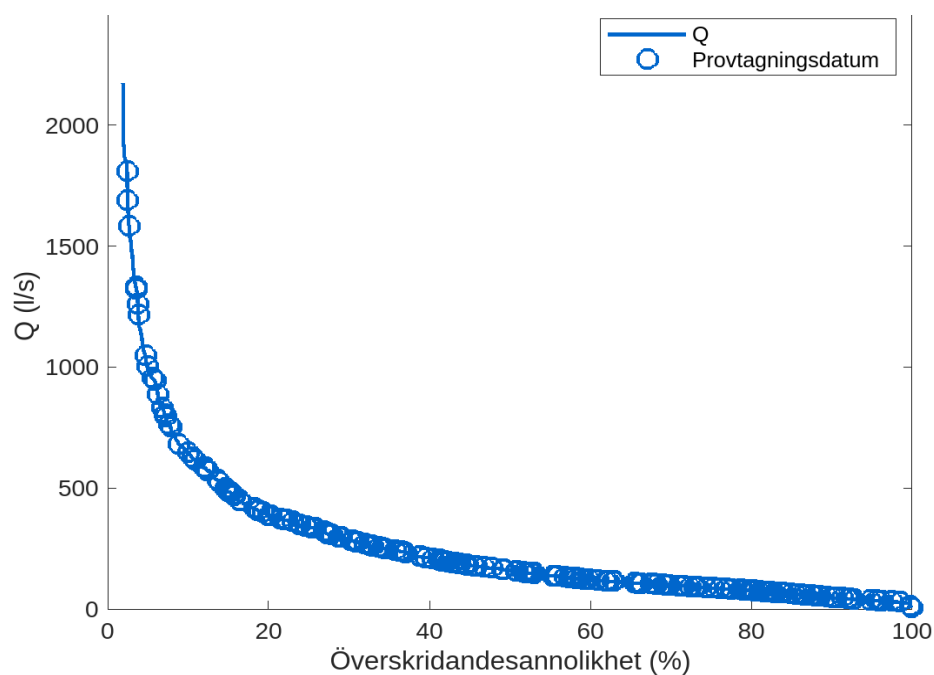
Provplats	m PFAS21 [kg/år]	m PFAS4 [kg/år]	m korta PFCA [kg/år]	m långa PFCA [kg/år]	m korta PFSA [kg/år]	m långa PFSA [kg/år]	m övrig PFAS [kg/år]
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	0,0010 ± 0,0004	0,0003 ± 0,0001	0,0001 ± 0,0003	0,0005 ± 0,0002	0,0002 ± 0,00007	0,0006 ± 0,0002	0,0001 ± 0,000031
RY0 (Brista uppström)	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,0001	0,002 ± 0,0005	0,0004 ± 0,0001	0,0002 ± 0,00006	0,001 ± 0,0002	0,000062 ± 0,00002
Kättstabäcken	1,76 ± 0,69	1,19 ± 0,47	0,45 ± 0,18	0,094 ± 0,037	0,108 ± 0,043	1,01 ± 0,40	0,046 ± 0,018
Halmsjöbäcken	0,36 ± 0,14	0,24 ± 0,1	0,095 ± 0,038	0,048 ± 0,019	0,017 ± 0,007	0,186 ± 0,075	0,006 ± 0,002
Odensalabäcken	0,015 ± 0,006	0,010 ± 0,004	0,011 ± 0,005	0,004 ± 0,002	0,001 ± 0,0005	0,004 ± 0,002	0,002 ± 0,001
Rosersbergsbäcken	0,195 ± 0,076	0,079 ± 0,031	0,106 ± 0,042	0,003 ± 0,010	0,016 ± 0,006	0,057 ± 0,022	0,005 ± 0,002
Märstaåns utlopp	2,78 ± 1,04	1,87 ± 0,70	0,69 ± 0,26	0,199 ± 0,075	0,148 ± 0,055	1,66 ± 0,62	0,101 ± 0,038



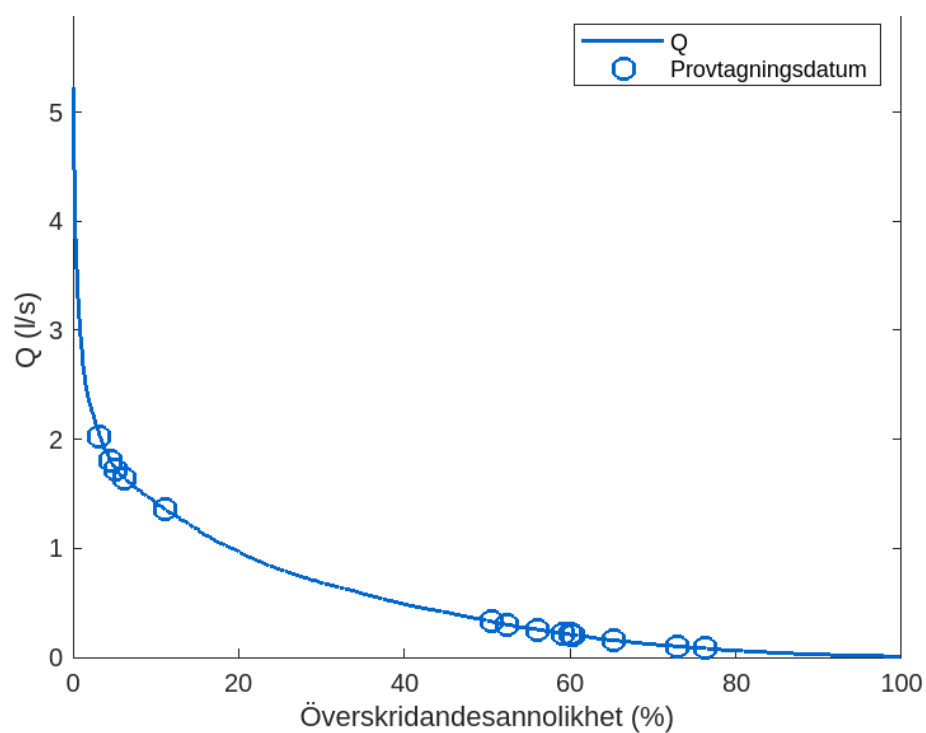
Figur 33: Estimerat årligt massflöde för de olika delvattendragen (kg/år).

I Figur 34 och 35 visas grafer över överskridningssannolikheten för vattenföringen Q vid de tillfällen då PFAS - provtagning gjorts i Punkt F och i Märstaåns utlopp. Graferna visar på under vilka förhållanden för vattenföringen Q som provtagning gjorts. En kurva där provtagningarna täcker en stor del av kurvans intervall innebär att mer information kring PFAS- koncentrationer vid olika flöden återfinns. Vidare innebär provtagning vid väldigt höga samt låga värden information om vad som sker med PFAS-koncentrationerna då. Punkt markerad på graf innebär provtagningsdatum för PFAS.

För Punkt F där ett stort antal PFAS-prover tagits och även flödesmätningar gjorts i stor omfattning, finns goda förutsättningar för analys kring korrelation (Figur 34). För de mätningar som finns av såväl PFAS som vattenföring i Märstaåns utlopp är dessa slutsatser inte lika tillförlitliga. Till exempel saknas information kring vad som händer vid väldigt höga värden på Q. I Appendix C presenteras motsvarande graf för Skvalet, där liknande fördelning som i Märstaåns utlopp syns.

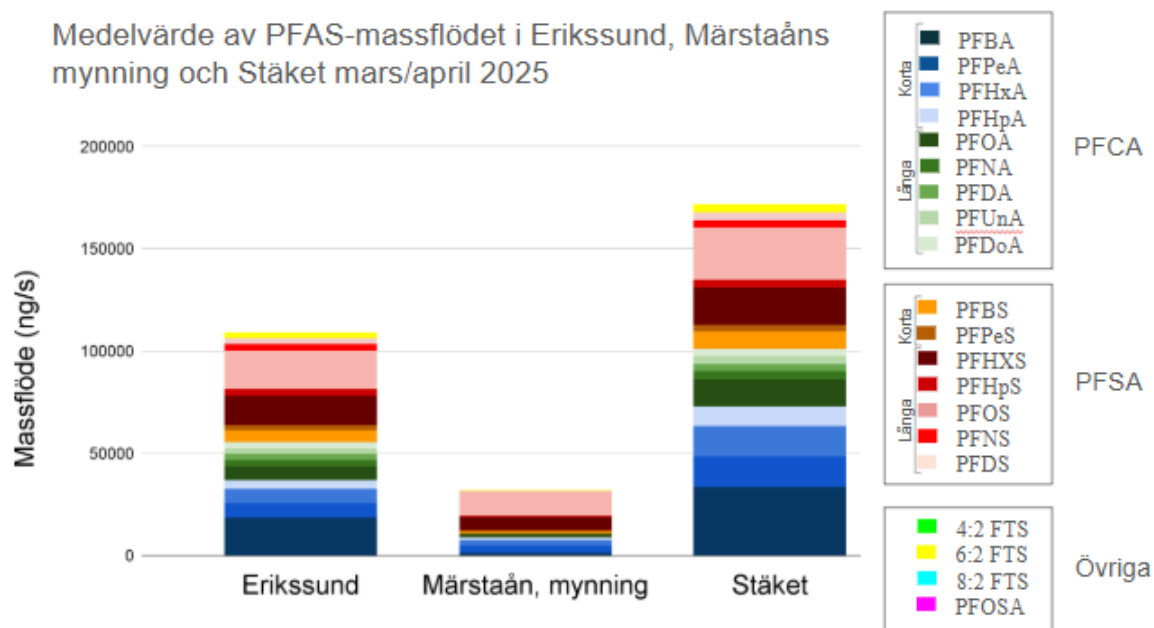


Figur 34: Sannolikhet för överskridande av vattenföring vid Punkt F för de dagar då PFAS - provtagning gjorts i punkten.



Figur 35: Sannolikhet för överskridande av vattenföring i Märstaåns utlopp för de dagar då PFAS - provtagning gjorts i punkten.

Med avseende på de mätningar som gjordes i Erikssund och Stäket visas slutligen ett approximerat medelvärde över massflödet PFAS under mars-april 2025 (Figur 36). PFAS-koncentrationerna är de från provtagningarna i denna studie, och värdet på vattenföringen för samtliga punkter är S-HYPE värden för respektive datum. Erikssund och Märstaån är båda lokaliserade uppströms Stäket (Figur 11), och kan därmed summeras för att se eventuell skillnad med massflödet beräknat vid Stäket. Resultatet från en sådan summering innebär 17% större PFAS- massflöde i Stäket, se Appendix F för ytterligare jämförelse. Baserat på dessa data är Märstaåns andel PFAS till Stäket cirka 20%.



Figur 36: Approximerat medelmassflöde i mars/april 2025 för Erikssund, Märstaåns mynning och Stäket.

6. DISKUSSION

6.1 Tolkning av massflöden och variationer

Massflödesberäkningar samt analyser av historiska och säsongsvisa variationer har genomförts som underlag för att belysa rapportens två första frågeställningar. Fokus har legat på att uppskatta det årliga massflödet av PFAS i Märstaån, observera hur detta förändrats över tid och mellan provpunkter, samt att undersöka variationer mellan mättillfällen och möjliga samband med vattenföring.

Resultaten från denna rapport visar fortsatt höga halter av PFAS, speciellt av typen långa PFSA i Märstaån. Det estimerade massflödet på 2,8 kg/år för Σ_{21} PFAS är en minskning från de 3,3 kg Σ_{21} PFAS som presenterades i massbalansen som Stockholm Vatten & Avfall tillsammans med Norrvatten gjorde 2023. Det beräknade värdet på 1,3 kilo PFOS i Punkt F som Arlanda i projektet RE-PATH beräknas belasta Mälaren med är från beräkningen gjord i denna rapport reducerad till 0,78 kg då motsvarande värde i Halmsjöbäckens och Kättstabäckens sammanlagda PFOS massföring summeras. Sammantaget ger därmed denna rapportindikationer på en nedåtgående trend på åns PFAS- nivåer jämfört med tidigare studier.

I syfte att avgöra historiska trender över variationen i PFAS- koncentrationer är det de tidigare mätningarna gjorda av IVL inom RE:PATH, samt koncentrationerna uppmätta i Punkt F av Swedavia som i första hand kan ge information. I Figur 24 där medelvärden av ett antal PFAS- ämnen visas över en säsong, syns en minskning på nästan 70% av PFOS och närmare 80% för PFHxS som var och är de dominerande ämnena i Punkt F mellan 2011/2012 och 2024/2025. Detta avtagande i utlakning av PFAS till Kättstabäcken och Halmsjöbäcken har en tydlig förklaring i att utfasning av AFFF-skum över tid minskat halter i jorden som redan lakats ut, men åtgärder som A-train kan också ha bidragit till en minskning i och med ytterligare rening.

De avtagande halterna syns även i Figur 22, där lägre koncentrationer syns under 2024 jämfört med tidigare år. Halterna är dock med avseende på mätningar från 2025 stigande igen under vårflödet. Registrering och analys av PFAS och vattenföring i Punkt F bör göras ytterligare för att dra slutsatser om effektiviteten hos A-train. De avtagande koncentrationerna 2024 kan indikera ett positivt resultat, men är inte förankrade i en tillräckligt lång mätserie för att fastställa detta utan vidare provtagning.

I Märstaåns utlopp finns inte förutsättningar att med lika stor tillförlitlighet avgöra historiska trender kopplat till PFAS- nivåerna med avseende på den lägre provtagningsintensiteten. För PFOS, där provtagningar finns under två tillfällen 2009 respektive 2011, syns stora variationer. Under mätningarna 2009 var koncentrationerna i utloppet jämförelsevis låga, cirka 17 ng/l och 45 ng/l för april respektive maj. Däremot uppmättes historiskt högsta värden på 140 ng/l PFOS i december 2011.

För mätningarna 2022 och framåt, där mer regelbundna mätningar gjorts, finns ingen tydlig avtagande trend, utan snarare en årlig variation med avseende på PFOS. För samtliga PFAS i Märstaån syns i Figur 16 denna variation tydligt, och då värden från 2019 jämförs med de från 2025 är det inga tydliga reduktioner i PFAS-halter. För övriga platser är det baserat på fyra provtagningstillfällen 2023 och två 2025 och visar inte några generella förändringar.

För säsongsvariationer kan vattenföringen Q ses följa liknande kurvor vad gäller fluktuation för ett år. I Figur 30 syns för Skvalet, Punkt F och i utloppet höga värden för vattenföringen på våren, för att nå ett årlägssta i juli, och förutom ett lokalt minimum i september sedan öka. Koncentrationerna av PFAS för Punkt F, Märstaåns utlopp, Kättstabäcken, Halmsjöbäcken och Odensalabäcken följer liknande säsongsvariationer med de högsta koncentrationerna i medel uppmätta i maj och de lägsta i medel i augusti för att sedan gradvis öka igen.

För Punkt F syns denna trend för samtliga år 2021-2024, med viss variation i när det högsta respektive lägsta värdet på koncentrationen fås (Figur 22). Resultaten visar på att samtliga indelade PFAS- kategorier i Punkt F i medel utgått från denna årsvarians med högsta värden uppmätta på våren (Figur 23). Rosersbergsbäcken avvek i de mätningar som gjordes 2023 från detta då de högsta koncentrationerna uppmättes i oktober. Eftersom det enbart var ett provtillfälle kan det inte uteslutas att samma årliga variation dock generellt stämmer in även på Rosersbergsbäcken.

De säsongsvariationer som observerats tyder inte på något starkt samband mellan vattenföring och PFAS- koncentration (Figur 25). Den statistiska korrelationen indikerar en svag negativ korrelation, det vill säga att vid höga flöden tenderar PFAS- nivåerna att minska i Punkt F. Det fanns inte någon stark korrelation mellan TOC och PFAS (Figur 26). Från samtal med Swedavia har det framgått att glykolutsläpp kopplat till avisningsmedel bidrar till oregelbundna TOC-halter vilket troligt kan påverka eventuella möjligheter att från Punkt F avgöra om korrelation finns. Baserat på grafer över sannolikhet för överskridande kan det åskådliggöras att tillförlitliga slutsatser kring flödes- och PFAS/TOC- korrelation i första hand kan göras för Punkt F, där högst provtagningsfrekvens funnits.

En korrelation mellan belastningen av PFAS och vattenföring kan med stöd av data från Punkt F konstateras. I Figur 32, där massflödet visualiseras, syns inget tydligt avtagande mönster. Den högsta PFAS-belastningen under perioden 2021–2025 har uppmätts i slutet av 2023 och början av 2024, vilket är samma period som de högsta vattenflödena registrerats. Detta tyder på att variationen i PFAS-belastning främst styrs av vattenföringen (Q). Detta är i enlighet med teorin från Nguyen et al. 2022, där samma resultats sågs för Arlandaområdet, och i första hand förklarades av snösmältning och stigande grundvattennivåer som leder till mobilisering av PFAS i jorden.

6.2 Bidrag från delområden och identifierade punktkällor

För att belysa de två återstående frågeställningarna har en geografisk fördelning av PFAS-halter analyserats, med fokus på bidrag från olika delområden samt identifiering av potentiella punktkällor. Resultaten från dessa analyser diskuteras i det följande.

De högsta koncentrationerna av samtliga PFAS har vid såväl provtagningen 2023 som 2025 uppmätts i Kättstabäcken. Kättstabäcken har stora delar av Arlanda flygplats, och brandövningsplatsen i sitt avrinningsområde har fortsatt användas. Det diskuterades i projektet RE-PATH som en betydande belastning på Märstaån. PFOS och PFHxS utgör de ämnen som påvisas i högst koncentration, cirka 70 ng/l respektive 40 ng/l från mätningarna under 2025. Detta resultat gäller även för massflödet, där cirka 2,1 kg av totalt 2,78 kg Σ_{21} PFAS i utloppet i denna studie beräknas komma från det gemensamma avrinningsområdet för Kättstabäcken och Halmsjöbäcken.

För de kategoriserade objekt från EBH-kartan (Figur 7), finns baserat på resultaten indikationer på att ett antal av dessa inte bidrar med någon betydande belastning på PFAS i Märstaån. De objekt som kategoriserats inom Odensalabäckens avrinningsområde (Industrideponi 1&2), bidrar mot bakgrund av bäckens låga koncentrationer och beräknad belastning, inte till stor påverkan av PFAS i Märstaån. I Halmsjöbäcken och Kättstabäckens avrinningsområde är de kategoriserade objekten på EBH-kartan enbart flygplatsen samt avfallsdeponi 1 tillhörande flygplatsen, vilket fortsatt visar på dessa som mest betydande punktkällor till PFAS- massflödet.

För Kättstabäcken tillades Horssjön som referenspunkt i syfte att vidare påvisa PFAS-tillkomsten geografiskt. Provtagningen vid referenspunkten visar på de lägsta PFAS- nivåerna (cirka 7 ng/l), jämfört med 634,9 ng/l för Kättstabäcken 2025, vilket bekräftar att de höga PFAS-nivåerna inte har sitt ursprung uppströms om flygplatsen och brandövningsplatsen.

I Rosersbergsbäcken, där det under mars/april 2025 uppmätts i medel cirka 70 ng/l Σ_{21} PFAS, utgjordes det till ungefär lika delar PFCA och PFSA. I Rosersbergsbäcken var de kategoriserade objekten på EBH-kartan Ragn-Sells avfallsdeponi, samt Stockholm exergis förbränningsanläggning. För Rosersbergsbäcken fungerade mätpunkt RY0 som en referenspunkt, där nivåerna dock uppgick till i medel 13,32 ng/l av framförallt korta PFCA, vilket innebär viss svårighet att källspåra totalt PFAS-bidrag i bäcken då även referenspunkten är något påverkad. Baserat på Skvalets placering mellan avfallsanläggningen och förbränningsanläggningen, tyder PFAS-sammansättning på påverkan från båda anläggningarna. Majoriteten av PFCA har baserat på vårens mätningar ursprung från Brista avfallsanläggning, medan ytterligare tillförsel av PFSA i form av PFOS och PFHxS tillkommer i punkten längre nedströms (Rosersbergsbäcken), vilket tyder på belastning från Stockholm exergis anläggning Bristaverket.

Då resultat från beräknat massflöde av Σ_{21} PFAS i Märstaåns utlopp jämförs mot summan av massflödet från Kättstabäcken, Halmsjöbäcken, Odensalabäcken och Rosersbergsbäcken finns för ett stort antal PFAS ämnen en oidentifierad kvot, differensen är för Σ_{21} PFAS 16%. Denna kvot kan innebära att de potentiellt förorenade källorna belägna i Märsta centralort ytterligare belastar ån med PFAS. Det kan även vara ett systematiskt fel där massflödet vid utloppet kan ha överskattats, eller där övriga flöden underskattas. Slutligen är en möjlig källa för denna oidentifierade kvot att viss belastning sker via nederbörd, vilket baserat på avrinningsområdet storlek ej är troligt vara enda förklaringen.

Från resultaten av massflödesberäkningen för Stäket och Erikssund beräknades Märstaåns relativa bidrag av PFAS till Stäket vara cirka en tredjedel. Koncentrationen i Märstaån är mycket större än Erikssund (cirka 17 gånger vid provtagningarna i år), därmed är differensen huvudsakligen orsakad av det stora flödet vatten som S-HYPE modellerat i Erikssund. Vid summering av massan i Märstaån och Erikssund jämfört med Stäket syns, vilket kan understrykas av Figur 34, en viss skillnad (cirka 17%). Detta medför indikation på tillflöde av PFAS till Görvälån via Stäket som inte går via Erikssund eller har ursprung i Märstaån, exempelvis Oxundaån. Baserat på resultaten kan dock den relativa andelen PFAS från Märstaån via Stäket till Görvälån sättas till cirka en femtedel, vilket är betydande med avseende på avrinningsområdets storlek.

6.3 Osäkerheter och metodbegränsningar

Denna studie har i och med sin geografiska utbredning och interpolerade beräkningar en del osäkerheter som bör tas i hänsyn till vid tolkning av presenterade resultat. För de PFAS-koncentrationer som uppmätts via Eurofins laboratorier har Eurofins konstaterat en 30% mätosäkerhet vilket innebär att de framräknade massflödet på grund av laborativa osäkerheter kan variera betydligt. Dessutom har även de fysiska metoderna för flödesmätning som tillämpats varierad storlek på instrumentell mätosäkerhet.

En stor osäkerhet i denna studie är den relativt låga provtagningsfrekvens som finns för vissa av provplatserna. Då studien fokuserat på en spatialt ingående analys av avrinningsområdet har inte alla punkter studerats i samma utsträckning, detta med avseende på möjlighet av sammanställning av tidigare data. Analys av såväl PFAS- halter som flöden har därmed för vissa provpunkter baserats på fåtal mätningar och lämnar därför osäkerheter i möjligheter att analysera variationer. Detta gäller primärt de uppströmspunkter som tillades för mätningarna 2025. Eventuella avvikelser och mätosäkerhet har därmed påverkat resultaten mycket för dessa platser, till skillnad från exempelvis Punkt F där resonemang är underbyggda av hög temporal täthet av datan. I och med att detta projekt enbart sträckte sig under våren 2025 har inga mätningar för sommar och höst inkluderats för detta år vilket även detta bidrar till delvis bristande data för möjlighet att avgöra trender jämfört med 2023.

En slutgiltig metodbegränsning har för studien varit att det enbart är ytvattenkoncentrationer som studerats. Under RE-PATH, där det framgick att det primärt är genom ytvatten PFAS sprids från Arlandaområdet, är detta en betydande och viktig del för analys av spridningssituationen. Däremot inkluderar således resultaten i detta arbete inte PFAS som sprids via sediment, grundvatten eller nederbörd. Detta bör tas i hänsyn vid tolkning av resultat och för ytterligare förståelse av föroreningsbilden.

5.4 Miljömässig betydelse och fortsatt behov av övervakning

Fortsatta studier av PFAS i Märstaån är av stor vikt för att kontrollera den belastning som når recipienten Mälaren. I syfte att undersöka huruvida det finns en betydande påverkan från potentiella källor i Märsta bör vidare provtagning göras i de delar av ån som i dagsläget inte klassificerats som vattenförekomster av Länsstyrelsen. Detta är av intresse för att möjliggöra analys av de 16% Σ_{21} PFAS som utifrån massföringen beräknad i denna rapport eventuellt tillkommer i samband med Moralundstunneln och Steningedalen (Figur 11).

Mindre delflöden i anslutning till Moralundstunneln kan för att utreda detta kartläggas och kontrolleras som komplement till de huvudvattendrag som Länsstyrelsen kategoriserat. Även utökad provtagning av ultrakorta PFAS som TFA bör undersökas i och med de halter i regn- och ytvatten som Naturskyddsföreningen uppmätt. Det finns baserat på det estimerade massflödet för Märstaån jämfört med Erikssund behov av att göra ytterligare analyser av PFAS i vattendrag förutom Märstaån, vars recipient är Östra Mälaren- Görväln.

Det är även av intresse att systematisera och bredda flödesmätningar i Märstaån utöver Skvalet och Punk F. Denna studie indikerar att PFAS-transport korrelerar med vattenföring, och att ingen stor effekt av utspädning sker. Vid installation av en pegel i utloppet eller dylikt kan då massflödet under året kartläggas ytterligare. Från de flödesmätningar som gjorts har resultat differentierat mot S-HYPE värden för samma provpunkt, vilket gör att fortsatta studier med jämförelse av fysiska flödesmätningar mot S-HYPE modellen är av intresse.

7. SLUTSATSER

Studien visar att halterna PFAS i flera delar av Märstaåns vattenförekomster överskrider gällande gränsvärden för ytvatten, särskilt för långa PFSA som PFOS och PFHxS. I vissa fall har halter över 200 ng/l uppmätts, vilket markant överskrider gränsvärdet på 0,65 ng/l i årsmedel enligt HVMFS 2019:25. Detta indikerar att Märstaån inte uppnår god kemisk status enligt EU:s vattendirektiv.

Det finns indikationer på en avtagande trend i PFAS-nivåer jämfört med tidigare mätningar i Punkt F, sammanflödet mellan Kättstabäcken och Halmsjöbäcken, bland annat från RE-PATH-projektet 2011-2014. En trolig förklaring är utfasningen av AFFF-baserat brandskum vid Arlanda år 2011. Trots detta kvarstår spridningsrisken från tidigare förorenade marker, då PFAS är mycket stabila ämnen av stor spridningsrisk i grund- och ytvatten.

Säsongsmässigt uppvisar PFAS-halter en tydlig variation med högre koncentrationer under vårflöden. En trolig orsak är snösmältning, som leder till ökad avrinning och höjd grundvattennivå, och en följd av detta är utlakning från markens omättade zon och mobilisering av PFAS. Från Punkt F visar analysen en svag negativ korrelation mellan vattenföring (Q) och PFAS-koncentrationer, men en tydlig positiv relation mellan Q och PFAS-belastning, vilket indikerar att ökad vattenföring ökar massflödet markant.

För de flödesmätningar som gjorts i denna studie kan det konstateras att mätning med flottör ger högre värden, men att metoden kan användas i fält då tillgång till annan utrustning saknas, eller då en kvantitativ provtagningsmetod tillämpas. Detta då dessa värden visar på hög korrelation med mätvärden från ADV vid samma provdatum.

Arlandaområdet, särskilt brandövningsplatsen, bedöms vara den huvudsakliga punktkällan till PFAS, baserat på de höga halter som uppmätts i Kättstabäcken och deras påverkan på Märstaåns utlopp. Andra identifierade källor finns i Märsta tätort och i anslutning till Rosersbergsbäcken, där påverkan från både Ragn-Sells och Stockholm Exergi identifierats. Cirka 16 % av PFAS-massflödet i åns utlopp kan dock ännu inte kopplas till en specifik källa, vilket antyder att fler källor, eller metodrelaterade osäkerheter kan förekomma.

För att minska PFAS-belastningen på Mälaren, som är en viktig dricksvattentäkt, krävs riktade åtgärder uppströms, särskilt i Kättstabäcken. Dessutom behövs tätare provtagning samt vidare analys av ultrakorta PFAS, såsom TFA, för att få en mer heltäckande bild av belastningen från hela avrinningsområdet.

8. REFERENSER

- Ahrens, L., Norrström, K., Viktor, T., Palm Cousins, A. & Josefsson, S. (2015). *Stockholm Arlanda Airport as a source of per- and polyfluoroalkyl substances to water, sediment and fish*. Chemosphere, 129, 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.136>
- Björnsdotter, M. & Freeling, F. (2023). *Assessing the environmental occurrence of the anthropogenic contaminant trifluoroacetic acid (TFA)*. Cognitive Science, 100807. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100807>
- Byrne, P., Mayes, W.M., James, A.L., Comber, S., Biles, E., Riley, A. & Runkel, R.L. (2024). *PFAS river export analysis highlights the urgent need for catchment-scale mass loading data*. Environmental Science & Technology Letters, 11(3), 266–272. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00017>
- Carnero, A.R., Lestido-Cardama, A. & Loureiro, P.V. (2021). *Presence of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in food contact materials (FCM) and its migration to food*. Foods, 10(7), 1443. <https://doi.org/10.3390/foods10071443>
- DHS. (2024). *Chemicals: Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl (PFAS) Substances*. Tillgänglig: <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/pfas.htm> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]
- Ejhed, H. & Ekman, F. (2022). *Källor till PFAS, massbalans för Mälaren-Görvaln*. Tillgänglig: https://www.norrvatten.se/globalassets/1.-dricksvatten/forskning-och-utveckling/forsknings--och-utvecklingsrapporter/2022/2022-05-pfas_massbalans_malaren-gorvaln.pdf [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]
- Ejhed, H. & Ekman, F. (2023). *Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens vattenskyddsområde*. Tillgänglig: <https://www.norrvatten.se/globalassets/1.-dricksvatten/forskning-och-utveckling/forsknings--och-utvecklingsrapporter/2023/2023-11-29-kallor-till-pfas-for-ostra-malarens-vso.pdf> [Åtkomstdatum: 5 feb. 2025]
- Gobelius, L., Glimstedt, L., Olsson, J., Wiberg, K. & Ahrens, L. (2023). *Occurrence and distribution of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in Swedish surface waters*. Chemosphere, 329, 139182. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139182>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2024). *Remiss om revidering av Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten avseende bedömningsgrunder för PFAS*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/download/18.2abb1850192594111574ec32/1728487239055/remiss-pfas-2024-003213.pdf> [Åtkomstdatum: 18 maj 2025]
- Håkansson, H (2024). *Perfluorerade och polyfluorerade ämnen (PFAS)*. Karolinska institutet. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/miljomedicinsk-riskbedomning/riskwebben/perfluorerade-och-polyfluorerade-amnen> [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2021). *PFAS in waste residuals from Swedish incineration plants*. [Åtkomstdatum: 21 mars 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2022). *Prövtidsredovisning för Brista avfallsanläggning*. [Åtkomstdatum: 10 mars 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2015). *Risks and effects of the dispersion of PFAS on aquatic, terrestrial and human populations in the vicinity of international airports*. [Åtkomstdatum: 13 maj 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2023). *Spridningen av PFAS-ämnen från brandövningsplatser*. Tillgänglig: <https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/kemikalier/spridningen-av-pfas-amnen-fran-brandovningsplatser.html> [Åtkomstdatum: 6 feb. 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2010). *Årsrapport 2009 för projektet RE-PATH*. Tillgänglig: <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552179/FULLTEXT01.pdf> [Åtkomstdatum: 20 maj. 2025]

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2012). *Årsrapport 2011 för projektet RE-PATH*. Tillgänglig: <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552043/FULLTEXT01.pdf> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]

Livsmedelsverket. (2024). *PFAS och andra miljögifter i dricksvatten och livsmedel - kontroll*. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/foretagande-regler-kontroll/dricksvattenproduktion/kontroll-pfas-miljogifter-dricksvatten-egenfangad-fisk> [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]

Länsstyrelserna. (2025). *EBH-kartan*. Tillgänglig: <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c> [Åtkomstdatum: 6 feb. 2025]

Länsstyrelsen Skåne. (u.å.). *Högfluorerade ämnen, PFAS*. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/skane/miljo-och-vatten/fororenade-omraden/hogfluorerade-amnen-pfas.html> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]

Länsstyrelsen Stockholm. (2013). *Märstaåns vattenkvalitet 1988–2012*. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1b1d393819324610c3748ce7/1732516509540/M%C3%A4rsta%C3%A5ns%20vattenkvalitet%201988-2012.pdf> [Åtkomstdatum: 28 jan. 2025]

Länsstyrelsen Stockholm. (2022). *Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS) i sjöar och vattendrag i Stockholms län*. Tillgänglig: [https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1b1d393819324610c3748610/1732515747201/Per%20och%20polyfluorerade%20%C3%A4mnen%20\(PFAS\)%20i%20sj%C3%B6ar%20och%20vattendrag%20i%20Stockholms%20l%C3%A4n.pdf](https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1b1d393819324610c3748610/1732515747201/Per%20och%20polyfluorerade%20%C3%A4mnen%20(PFAS)%20i%20sj%C3%B6ar%20och%20vattendrag%20i%20Stockholms%20l%C3%A4n.pdf) [Åtkomstdatum: 31 jan. 2025]

- Mälarens Vattenvårdsförbund. (u.å.). *Kort fakta*. Tillgänglig: <https://www.malaren.org/malaren/malaren-och-dess-naromrade/kort-fakta/> [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]
- Malnes, D., Golovko, O., Köhler, S. & Ahrens, L. (2021). *Förekomst av organiska miljöföroreningar i svenska ytvatten – kartläggning av Sveriges tre största sjöar, tillrinnande vattendrag och utlopp*. Mälarens Vattenvårdsförbund rapport 2021:1. Tillgänglig: <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=110351> [Åtkomstdatum: 31 jan. 2025]
- Naturvårdsverket. (2024). *Ansvar för skadad miljö (2 kap.8§)*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljobalken/hansynsreglerna--kapitel-2-miljobalken/ansvar-for-skadad-miljo-2-kap.-8-/> [Åtkomstdatum: 18 maj 2025]
- Naturskyddsföreningen. (2024a). *Frågor och svar om PFAS*. Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-ar-pfas/> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]
- Naturskyddsföreningen. (2024b). *Analysrapport 2024: PFAS i dricksvatten och ytvatten*. Tillgänglig: <https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2024/10/Analysrapport-pfas-2024.pdf> [Åtkomstdatum: 20 feb. 2025]
- Ngyuen, M., Nordström, A., Wiberg, K., Gustavsson, J., Josefsson, S., Ahrens, L. (2022). *Seasonal trends of per- and polyfluoralkyl substances in river water affected by fire training sites and wastewater treatment plants*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136467> [Åtkomstdatum: 25 maj 2025]
- Nordin, J. (2018). *Utredning av lakvattnets ursprung på Brista deponi*. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1192598/FULLTEXT01.pdf> [Åtkomstdatum: 12 feb. 2025]
- Norrvatten. (u.å.a). *Om Norrvatten*. Tillgänglig: <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/> [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]
- Norrvatten. (u.å.b). *Gränsvärde för PFAS*. Tillgänglig: <https://www.norrvatten.se/dricksvatten/Dricksvattenkvalitet/pfas-i-dricksvatten/> [Åtkomstdatum: 22 jan. 2025]
- Norrvatten. (u.å.c). *Pilotförsök med aktivt kol*. Tillgänglig: <https://www.norrvatten.se/om-norrvatten/nyheter/nyhetsbrev/nyhetsbrev-2-2023/pilotforsok-med-aktivt-kol/> [Åtkomstdatum: 18 maj. 2025]
- Naturvårdsverket. (2024). *Branschlistan förorenade områden*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/4a316e/globalassets/vagledning/forenaded-omraden/inventering/branschlista-forenaded-omraden-2024.pdf> [Åtkomstdatum: 7 feb. 2025]

OECD. (2013). *OECD/UNEP Global PFC Group Synthesis Paper on Per- and Polyfluorinated Chemicals (PFCs)*. Tillgänglig: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/32445> [Åtkomstdatum: 2 apr. 2025]

Rich Waters. (2022). *Ökad kunskap om PFAS i våra vatten*. Tillgänglig: <https://www.richwaters.se/okad-kunskap-om-pfas-i-vara-vatten/> [Åtkomstdatum: 13 mars 2025]

Robertson, D., Saad, D., Koltun, G. (2022). *An extrapolation method for estimating loads from unmonitored areas using watershed model load ratios*. Journal of Great Lakes Research. <https://www.doi.org/10.1016/j.jglr.2022.09.002>

SCALGO. (u.å.). *Scalgo Live*. Tillgänglig: https://scalgo.com/live/sweden?res=64&ll=17.882906%2C59.578346&lrs=lantmateriet_topo_webb_nedtonad&query=17.813693%2C59.603702&wsinfo=sweden-landuse-ml&canvas=bUtAIPlq3aob [Åtkomstdatum: 29 jan. 2025]

SGI. (2024). *Kartor över potentiellt förorenade områden*. Tillgänglig: <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/fororenade-omraden/fran-inventering-till-atgard/inventering-och-riskklassning/kartor-over-potentiellt-fororenade-omraden/> [Åtkomstdatum: 6 feb. 2025]

SGU. (2024). *PFAS – gränsvärden och tillståndsklasser*. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--organiska-amnesgrupper/pfas/pfas--gransvarden-och-tillstandsklasser/> [Åtkomstdatum: 29 jan. 2025]

Sigtuna Kommun. (u.å.). *Samverkan för bättre vatten*. Tillgänglig: <https://www.sigtuna.se/bygga-bo-och-miljo/naturvard-parker/sjoar-och-vattendrag/samverkan-for-battre-vatten.html> [Åtkomstdatum: 27 jan. 2025]

SMHI. (2025). *Modelldata per område, s-hype2022_version_2022a_1.0.0*. Tillgänglig: <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> [Åtkomstdatum: 3 feb. 2025]

SMHI. (2024). *SMHIs vattenföringsmätningar*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/matning-av-flode-och-vattenstand/smh-is-vattenforingsmatningar-1.80833> [Åtkomstdatum: 3 feb. 2025]

Stockholm Vatten och Avfall. (u.å.). *PFAS*. Tillgänglig: <https://www.stockholmvattenochavfall.se/pfas> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]

Swedavia Airports. (2024). *Miljörapport 2023 Stockholm Arlanda Airport*. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/contentassets/300a57a110c140d8965cbdabb697da58/miljorapport-2023-.pdf> [Åtkomstdatum: 11 mars 2025]

Swedavia. (u.å.). *PFAS*. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/arlanda/miljo/pfas/> [Åtkomstdatum: 5 feb. 2025]

Swedish Chemicals Agency. (2025). *PFAS*. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/en/chemical-substances-and-materials/pfas> [Åtkomstdatum: 21 jan. 2025]

Stockholm Exergi. (u.å.). *Bristaverket*. Tillgänglig: <https://www.stockholmexergi.se/vara-anlaggningar/bristaverket/> [Åtkomstdatum: 21 mars 2025]

VISS. (2025). *Märstaån*. Tillgänglig: <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA23364451> [Åtkomstdatum: 24 jan. 2025]

APPENDIX A- PFAS INDELNING

Studerade PFAS ämnen och dess förekomst i grupperingar presenteras i Tabell A1.

Tabell A1: De PFAS- ämnen som inkluderas i PFAS 4 respektive PFAS 21 (SGU 2024).

	PFAS4	PFAS9	PFAS11	PFAS 20	PFAS 21	PFAS 24
Perfluorhexansulfonsyra (PFHxS)	X	X	X	X	X	X
Perfluoroktansyra (PFOA)	X	X	X	X	X	X
Perfluoroktansulfonsyra (PFOS)	X	X	X	X	X	X
Perfluornonansyra (PFNA)	X	X	X	X	X	X
Perfluorbutansyra (PFBA)			X	X	X	X
Perfluorbutansulfonsyra (PFBS)		X	X	X	X	X
Perfluorpentansyra (PFPeA)		X	X	X	X	X
Perfluorhexansyra (PFHxA)		X	X	X	X	X
Perfluorheptansyra (PFHpA)		X	X	X	X	X
Perfluordekansyra (PFDA)		X	X	X	X	X
Fluortelomer 6:2-sulfonsyra (6:2 FTSA)			X		X	
Perfluorpentansulfonsyra (PFPeS)				X	X	X
Perfluorheptansulfonsyra (PFHPS)				X	X	X
Perfluordekansulfonsyra (PFDS)				X	X	X
Perfluorundekansyra (PFUnDA)				X	X	X
Perfluordodekansyra (PFDoDA)				X	X	X
Perfluortridekansyra (PFTrDA)				X	X	X

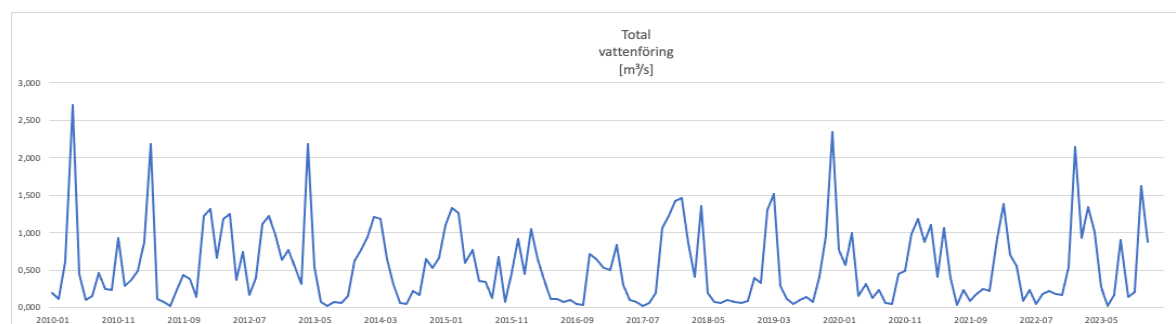
Perfluornonansulfonsyra (PFNS)		X	X	
Perfluorundekansulfonsyra (PFUnDS)		X	X	
Perfluordodekansulfonsyra (PFDoDS)		X	X	
Perfluortridekansulfonsyra (PFTrDS)		X	X	
Perfluortetradekansyra (PFTeDA)				X
Perfluorhexadekansyra (PFHxDA)				X
Perfluoroktadekansyra (PFOcDA)				X
HFPO-DA / Gen X				X
ADONA				X
C6O4				X
6:2 FTOH				X
8:2 FTOH				X

APPENDIX B- S-HYPE DATA

SMHI-data från 2010-2025 över modellerad vattenföring presenteras som årsmedel i Tabell B1. I Figur B1 syns variationer i vattenföring under samma tidsperiod.

Tabell B1: Total vattenföring under 2010-2023 i Märstaåns utlopp baserat på beräkningsmodellen S-HYPE (SMHI 2025)

År	Total vattenföring [m ³ /s]
2010	0,543
2011	0,545
2012	0,839
2013	0,510
2014	0,550
2015	0,664
2016	0,363
2017	0,530
2018	0,427
2019	0,636
2020	0,439
2021	0,507
2022	0,432
2023	0,806



Figur B1: Total vattenföring mellan 2010-2023 från S-HYPE (SMHI 2025)

APPENDIX C- MÄTNINGAR AV VATTENFÖRINGEN

Data över uppmätta vattenflöden i Märstaån mars/ april 2025 erhålls i Tabell C1-C3.

Tabell C1: Flödesmätningar i samtliga provpunkter 17 Mars 2025

Uppmätt	Medelhöjd h_x [m]	Bredd b [m]	Tvårsnittsarea A [m ²]	Medelflöde $\underline{v}$ [$\frac{m}{s}$]	Vattenflöde Q [$\frac{L}{s}$]
Provplats					
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	0,0867	0,50	0,0433	0,2920	12,6533 ± 1,0079
RY0 (Brista uppströms)	0,6	2,50	1,50	0,0043	6,50 ± 0,336
Kättstabäcken	0,25	1,20	0,30	0,2753	82,60 ± 4,0286
Halmsjöbäcken	0,22	1,50	0,33	0,2606	86,00
Odensalabäcken	0,3933	0,17	0,0669	0,1873	12,5264 ± 0,336
Rosersbergsbäcken	0,35	0,70	0,2450	0,1040	25,480 ± 3,47
Märstaåns utlopp	1,00	8,50	8,50	0,0268	228,00

Tabell C2: Flödesmätningar i samtliga provpunkter 8 April 2025

Uppmätt	Medelhöjd h_x [m]	Bredd b [m]	Tvärsnittsarea A [m ²]	Medelflöde $\underline{v}$ [$\frac{m}{s}$]	Vattenflöde Q [$\frac{L}{s}$]
Provplats					
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	0,0867	0,50	0,0433	0,2497	10,8189 ± 0,951
RY0 (Brista uppströms)	-	-	-	-	-
Kättstabäcken	0,1833	1,20	0,2200	0,2277	50,0867 ± 2,3729
Halmsjöbäcken	0,1840	2,100	0,3864	0,1690	65,3016 ± 3,64
Odensalabäcken	0,3800	0,170	0,0646	0,1217	7,8597 ± 0,4203
Rosersbergsbäcken	0,2767	0,700	0,1937	0,0703	13,6212 ± 3,1067
Märstaåns utlopp	0,9387	8,5000	7,9787	0,015	102,0000

Tabell C3: Flödesmätningar i samtliga provpunkter 14 April 2025

Uppmätt	Medelhöjd h_x [m]	Bredd b [m]	Tvärsnittsarea A [m ²]	Medelflöde $\underline{v}$ [$\frac{m}{s}$]	Vattenflöde Q [$\frac{L}{s}$]
Provplats					
Horssjön (Kättstabäcken uppströms)	0,0867	0,500	0,0433	0,2497	10,8189 ± 0,3536
RY0 (Brista uppströms)	-	-	-	-	-
Kättstabäcken	0,1833	1,200	0,2200	0,2277	50,0867± 1,3636
Halmsjöbäcken	0,1167	2,100	0,2450	0,1943	47,6117 ± 0,6166

Odensalabäcken	0,3433	0,170	0,0584	0,1032	6,0215 ± 0,5570
Rosersbergsbäcken	0,1767	0,700	0,1237	0,0971	12,0122 ± 0,5394
Märstaåns utlopp	0,8667	8,5	7,3667	-	-

Baserat på kontinuerliga flödesmätningar i Punkt F, Skvalet och S-HYPE interpolerades datan från flödesmätningarna för att möjliggöra beräkning av årligt medelvärde. I Tabell C4 presenteras värden över förhållande mellan provpunkter och referenspunkter. I Tabell C5 erhålls årligt värde på total vattenföring, samt medelvärde över vattenföringen utifrån detta.

Tabell C4: Förhållandet mellan uppmätt flöde och dokumenterat flöde för provpunkter samt referensmätningarna vid de tre mättillfällena.

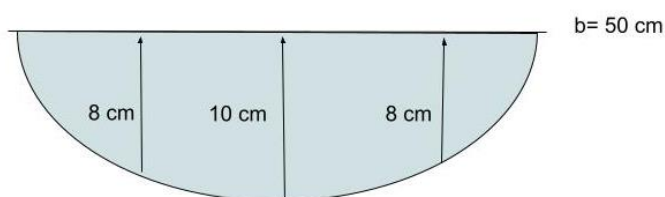
	Punkt F			Skvalet			S-HYPE		
Datum	17/3	8/4	14/4	17/3	8/4	14/4	17/3	8/4	14/4
Horssjön	0,077	0,112	0,117	1,047	0,919	1,102	0,058	0,1,135	0,0,120
RY0	0,04			0,538			0,03		
Kättsta bäcken	0,503	0,516	0,420	6,832	4,257	3,946	0,375	0,626	0,431
Halmsjö bäcken	0,523	0,671	0,663	7,113	5,529	6,224	0,391	0,813	0,680
Odensal abäcken	0,076	0,081	0,084	1,036	0,668	0,787	0,057	0,098	0,086
Rosersbergsbäcken	0,155	0,140	0,167	1,158	1,570	1,612	0,116	0,170	0,172
Märstaåns utlopp	1,388	1,052		18,859	8,668		1,036	1,275	

Tabell C5: Beräknad vattenföring för interpolering med olika referenspunkter

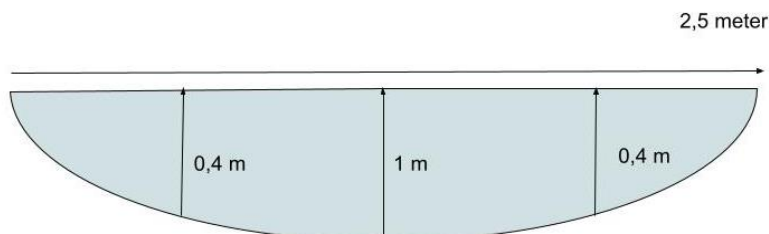
ReferensPunkt För interpolering	Punkt F	Skvalet	S-HYPE	Medelvärde
	Q (m3/år)			Q (L/s)
Horssjön	811217,823	903143,990	1834001510	37,506
RY0			518982218,2	13,829
Kättstabäcken	3 816 293,04	4425337,360	8389414758	175,789
Halmsjöbäcken	4 923 768,84	5553094,610	11033442764	227,362
Odensalabäcken	639 246,82	733239,360	1412304694	29,435
Rosersbergsbäcken	1 226 905,68	1423210,330	2679835972	56,337
Märstaåns utlopp	9 699 703,40	12153223,420	20300189073	445,556

APPENDIX D- DOKUMENTATION FRÅN PROVPUNKTER

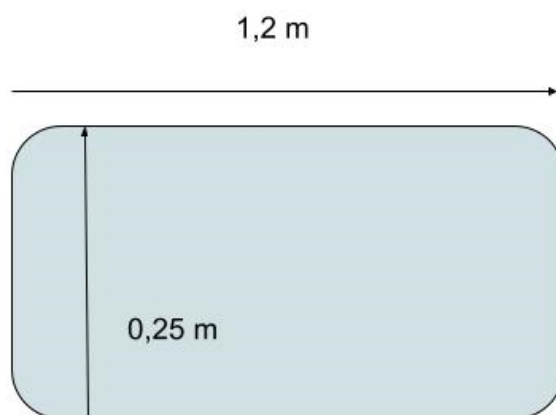
Dokumentation från de provpunkter där mätningar över flöde samt PFAS- koncentrationer återfinns i Figur D1-D8. För varje provpunkt visas även en uppritad tvärsnittsarea för beräkning av Q baserat på mättillfället 17 mars. För Märstaåns utlopp presenteras figur av tvärsnittsarea enligt illustration i Win River II (Figur D9).



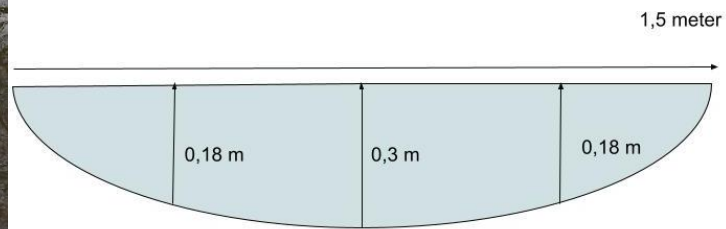
Figur D1: Provplats "Horssjön", samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



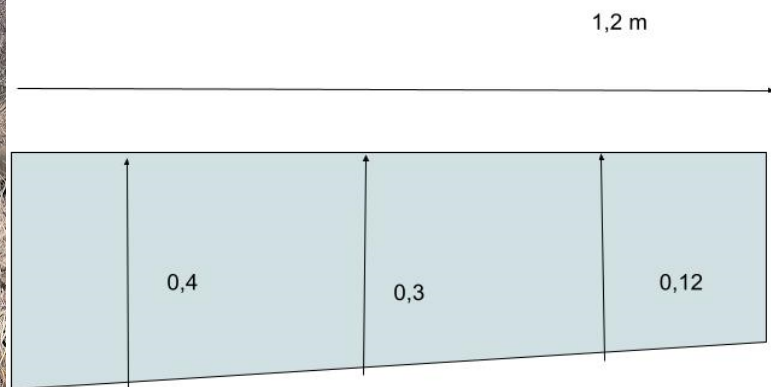
Figur D2: Provplats "RY0" (Rosersbergsbäcken uppströms), samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



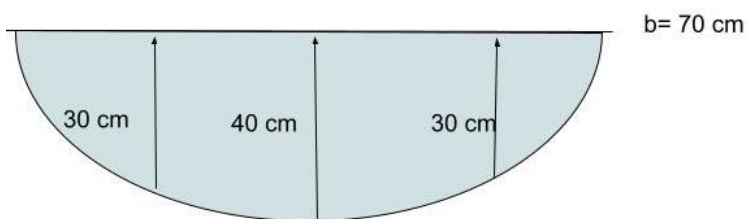
Figur D3: Provplats "Kättstabäcken", samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



Figur D4: Provplats "Halmsjöbäcken", samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



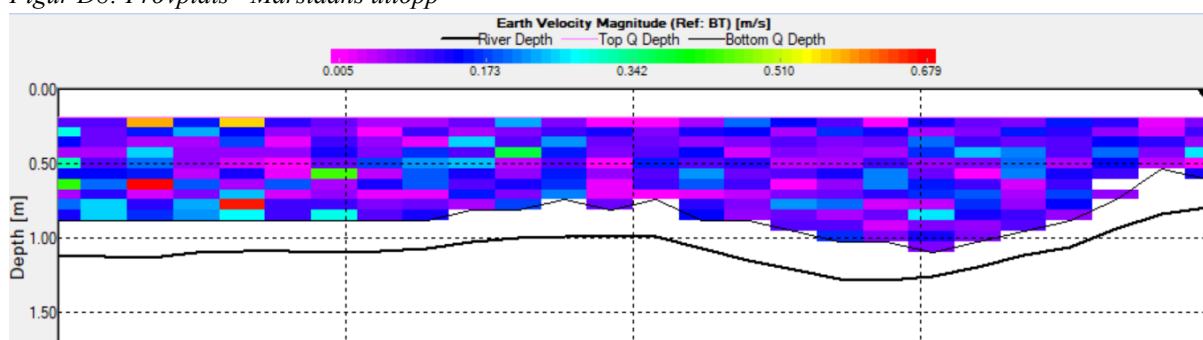
Figur D5: Provplats "Odensalabäcken", samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



Figur D7: Provplats "Rosersbergsbäcken", samt illustrerad tvärsnittsarea över vattenflödet.



Figur D8: Provpplats "Märstaåns utlopp"



Figur D9: Visualisering av tvärsnittsarea för Märstaåns utlopp i Win river II.

APPENDIX E- SAMMANSTÄLLNING AV PFAS-DATA

De PFAS- resultat som inkluderats i studien återfinns nedan. I Tabell E1 och E2 presenteras data från RE-PATH i Märstaåns utlopp respektive i Punkt F. I Tabeller E3-E8 resultat för respektive provplats

Tabell E1: PFAS- resultat i Märstaåns utlopp 2009-2011 inom projektet RE-PATH (IVL 2011).

	2009-04-28	2009-06-25	2011-03-29	2011-12-01
Korta PFCA (ng/l)				
PFHxA			15,9	30,1
Långa PFCA (ng/l)				
PFOA	3,1	7,2	14,2	23,1
Långa PFSA (ng/l)				
PFHxS			59,5	93,9
PFOS	16,7	45,7	78,9	140
Övriga PFAS (ng/l)				
6:2 FTS			17,7	
PFOSA			<1	

Tabell E2: PFAS- resultat från Punkt F för säsongerna 2011/2012 samt de mellan 2021-2025. Mätningar 2011/2012 gjorda av ivl inom RE-PATH och övriga av Swedavia.

Provtagningsdag	PFHxA	PFOA	PFHxS	PFOS	6:2 FTS	PFOSA
ng/l						
2011/2012						
2011-03-29	50,6	35,9	213	224	38,9	1,5
2011-12-01	45,6	41,4	182	294		
2012-02-01	75,7	48,2	232	404		
2021/2022						
2021-03-25	44	36	130	360	20	1,6
2021-12-01	23	30	71	180	8,4	0,85
2022-02-03	20	18	46	130	5,2	0,46

2022/2023

2022-03-31	15	18	44	130	3,9	<1
2022-12-01	17	9,3	34	79	1,9	0,32
2023-02-09	20	20	54	130	4,8	0,52
2023/2024						
2023-03-30	12	12	34	86	3,7	0,37
2023-11-30	14	19	42	98	1,5	0,32
2024-02-01	13	10	33	76	2,1	0,31
2024/2025						
2024-03-26	21	18	71	200	8,5	1
2024-11-04	10	9	25	43	1,5	0,3
2025-02-04	15	9,1	35	69	2,2	0,3

Tabell E3: PFAS- resultat från Märstaåns utlopp

	2019-02-01	2019-03-01	2019-10-04	2020-04-17	2021-11-01	2023-03-21	2023-05-10	2023-08-09	2023-10-18	2025-03-17	2025-04-15
PFAS 21	237,6	84,88	5			130	250	93,00	100	160	220
PFAS4	48,73	171,5	86,2	146,8	79,49	85,00	180,	65,00	55	100	150
PFAS11	237,6	84,88	5	140	190	180	130	240	90	99	150
										220	

Korta PFCA (ng/l)

PFBA	7,4	8,7			7,4	6,7	<20	<10	8,6	6,7	9
PFPeA	7,4	8,7			7,4	6,7	18	9,9	11	18	27
PFHxA	14	23	0,45	8,1	15	13	19	7,7	12	14	17
PFHpA	9,2	20	35	14	16	11	7,5	3,1	5,1	6,9	6,6

Långa PFCA (ng/l)

PFOA	5,3	14	12	9,7	13	8,9	15	4,8	9,5	9,6	12
PFNA	0,43	0,5	1,2	1,1	0,49	0,43	0,63	0,84	0,62	0,49	0,59
PFDA	0,15	0,15	0,63	<0,36	0,00	<0,3	<0,3	<0,36	<0,3	<0,3	<0,3
PFUnA						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDo						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

A											
Korta PFSA (ng/l)											
PFBS	2,6	7,2	9,2	5,1		3,6	6,7	2,3	3,8	4,8	5,6
PFPeS						4,1	8,4	2,1	2,5	4,3	6,1
Långa PFSA (ng/l)											
PFHxS	16,00	57,00	36,00	61,00		26,00	47,00	15,00	18,00	31,00	50,00
PFH ₉ S						1,5	2,9	0,68	0,69	2,9	2,2
		100,0					120,0				
PFOS	27,00	0	37,00	75,00	66,00	50,00	0	44,00	27,00	61,00	83,00
PFNS						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Övriga PFAS (ng/l)											
4:2											
FTS						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2											
FTS	2,8	7,1			,	4,1	8,4	1,8	3,3	2,1	5,1
8:2											
FTS						<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOS											
A						0,51	0,91	0,73	<0,3	0,5	0,67

Tabell E4: PFAS- resultat från Rosersbergsbäcken

	2023-03-21	2023-05-10	2023-08-09	2023-10-18	2025-03-17	2025-04-15
PFAS 21	57,00	57,00	52,00	140,00	55,00	82,00
PFAS4	20,00	27,00	24,00	42,00	24,00	37,00
PFAS11	55,00	54,00	51,00	140,00	53,00	79,00
Korta PFCA (ng/l)						
PFBA	10,00	<20	<10	24,00	6,1	9,00
PFPeA	10,00	8,8	11,00	23,00	8,00	13,00
PFH ₉ x						
A	7,8	9,9	9,2	26,00	7,5	11,00
PFH ₉ p						
A	9,00	4,3	4,00	11,00	3,8	4,8

Långa PFCA (ng/l)

PFOA	6,2	4,3	5,5	17,00	3,1	6,3
PFNA	<0,39	<0,3	0,87	0,91	<0,3	0,65
PFDA	<0,3	<0,3	0,56	<0,3	<0,3	<0,3
PFUnA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDoA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Korta PFSA (ng/l)

PFBS	3,80	3,2	1,9	12,00	3,7	4,3
PFPeS	2,00	2,5	1,2	4,1	1,5	2,6

Långa PFSA (ng/l)

PFHxS	7,2	12,00	6,5	14,00	11,00	14,00
PFHpS	<0,3	0,42	<0,3	0,43	0,51	0,52
PFOS	6,2	11,00	11,00	10,00	9,4	16,00
PFNS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Övriga PFAS (ng/l)

4:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2 FTS	0,54	0,56	0,62	0,41	<0,3	<0,3
8:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOSA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Tabell E5: PFAS- resultat från Odensalabäcken

	2023-03-21	2023-05-10	2023-08-09	2023-10-18	2025-03-17	2025-04-15
PFAS 21	6,8	6,3	11,00	9,7	6,1	9,00
PFAS4	1,5	2,6	11,00	2,3	1,8	2,7
PFAS11	6,8	6,3	11,00	9,7	6,1	9,00
Korta PFCA (ng/l)						
PFBA	2,7	<20	3,1	2,5	1,5	2,2

PFPeA	2,7	1,2	1,3	1,9	0,83	1,6
PFHx A	0,87	1,2	1,4	1,4	0,8	1,2
PFHp A	0,72	0,75	0,99	1,1	0,64	0,75
Långa PFCA (ng/l)						
PFOA	0,7	1,1	1,3	1,2	0,56	1,1
PFNA	<0,3	<0,3	0,54	<0,3	<0,3	<0,3
PFDA	<0,3	<0,3	0,45	<0,3	<0,3	<0,3
PFUn A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDo A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Korta PFSA (ng/l)						
PFBS	0,4	0,6	0,44	0,5	0,51	0,58
PFPeS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Långa PFSA (ng/l)						
PFHxS	0,46	0,96	0,52	0,63	0,87	0,93
PFHpS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOS	<0,38	0,49	1,1	0,43	0,41	0,64
PFNS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Övriga PFAS (ng/l)						
4:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
8:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOS A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Tabell E6: PFAS- resultat från Kättstabäcken

	2023-03-21	2023-05-10	2023-08-09	2023-10-18	2025-03-17	2025-04-15
PFAS	510,00	770,00	350,00	430,00	610,00	660,00

21						
PFAS4	320,00	550,00	240,00	400,00	400,00	400,00
PFAS11	470,00	730,00	330,00	270,00	580,00	630,00
Korta PFCA (ng/l)						
PFBA	18,00	<20	<20	17,00	18,5	27,00
PFPeA	18,00	54,00	38,00	42,00	68,5	96,00
PFHx A	61,00	54,00	27,00	36,00	49,00	56,00
PFHp A	46,00	21,00	9,9	15,00	22,00	18,00
Långa PFCA (ng/l)						
PFOA	29,00	43,00	15,00	25,00	24,5	30,00
PFNA	1,3	1,3	1,3	0,63	1,25	1,1
PFDA	<0,3	<0,3	0,46	<0,3	<0,3	<0,3
PFUn A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDo A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Korta PFSA (ng/l)						
PFBS	14,00	18,00	7,1	15,00	16,00	18,00
PFPeS	22,00	26,00	11,00	20,00	16,00	21,00
Långa PFSA (ng/l)						
PFHxS	97,00	130,00	65,00	110,00	145,00	140,00
PFHpS	9,3	9,2	4,8	7,1	11,05	7,6
PFOS	190,00	380,00	160,00	130,00	230,00	230,00
PFNS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Övriga PFAS (ng/l)						
4:2 FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2 FTS	10,00	27,00	5,7	12,00	3,3	12,00
8:2 FTS	<0,3	<0,3	0,87	<0,3	<0,3	<0,3

PFOS						
A	3,1	2,9	1,9	1,5	1,4	2,4

Tabell E7: PFAS- resultat från Halmsjöbäcken

	2023-03-21	2023-05-10	2023-08-09	2023-10-18	2025-03-17	2025-04-15
PFAS 21	83,00	66,00	77,00	94,00	115,00	73,00
PFAS4	55,00	46,00	49,00	63,00	81,00	47,00
PFAS11	80,00	63,00	75,00	91,00	115,00	71,00

Korta PFCA (ng/l)

PFBA	5,1	<20	7,5	5,3	5,35	4,8
PFPeA	5,1	5,6	8,00	8,00	8,85	7,2
PFHx A	7,3	6,2	5,7	8,8	8,55	6,4
PFHp A	6,7	2,7	2,6	3,9	4,5	2,9

Långa PFCA (ng/l)

PFOA	12,00	8,2	3,9	13,00	13,5	7,5
PFNA	<0,36	0,41	0,63	0,51	0,51	0,44
PFDA	<0,3	<0,3	0,5	<0,36	<0,3	<0,3
PFUn A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDo A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Korta PFSA (ng/l)

PFBS	2,00	2,1	1,7	2,1	2,3	2,00
PFPeS	2,5	2,4	1,8	2,2	1,75	2,1

Långa PFSA (ng/l)

PFHxS	20,00	17,00	14,00	25,00	36,5	17,00
PFHpS	0,74	0,53	0,63	0,68	1,35	0,54
PFOS	23,00	20,00	30,00	24,00	30,5	22,00
PFNS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Övriga PFAS (ng/l)

4:2						
FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2						
FTS	0,43	0,51	0,53	<0,36	<0,3	<0,31
8:2						
FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOS						
A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Tabell E8: PFAS- resultat från Stäket, Erikssund och PP100

	Stäket		Erikssund		PP100 (Råvatten från Görvälnverket)	
	2025-03-17	2025-04-14	2025-03-17	2025-04-14	2025-03-17	2025-04-14
PFAS 21	12	10	8,4	8,5		9,4
PFAS4	5,1	4	4,1	4		3,4
PFAS11	12	10	8,4	8,5		9,4
Korta PFCA (ng/l)						
PFBA	2,9	2,5	1,9	1,9		2,5
PFPeA	1,2	1,2	0,69	0,72		0,93
PFHx						
A	1,2	1,2	0,66	0,75		1,1
PFHp						
A	0,77	0,77	0,43	0,45		0,76
Långa PFCA (ng/l)						
PFOA	1,1	1	0,63	0,74		0,95
PFNA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		<0,3
PFDA	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		<0,3
PFUn						
A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		<0,3
PFDo						
A	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		<0,3
Korta PFSA (ng/l)						
PFBS	0,61	0,71	0,54	0,6		0,69
PFPeS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		<0,3

Långa PFSA (ng/l)

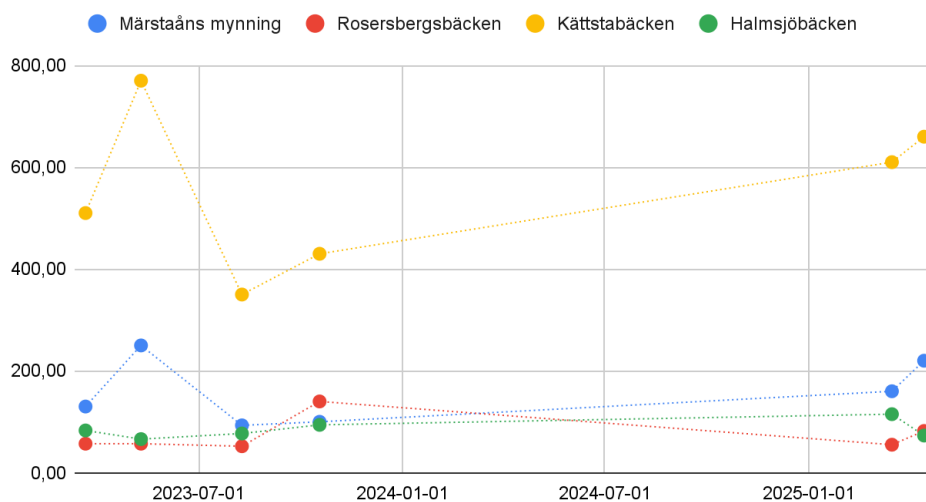
PFHxS	1,7	1,2	1,5	1,4	0,95
PFHpS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFOS	2,3	1,8	2	1,9	1,5
PFNS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
PFDS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Övriga PFAS (ng/l)

4:2					
FTS					
6:2					
FTS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
8:2					
FTS					
PFOS					
A					

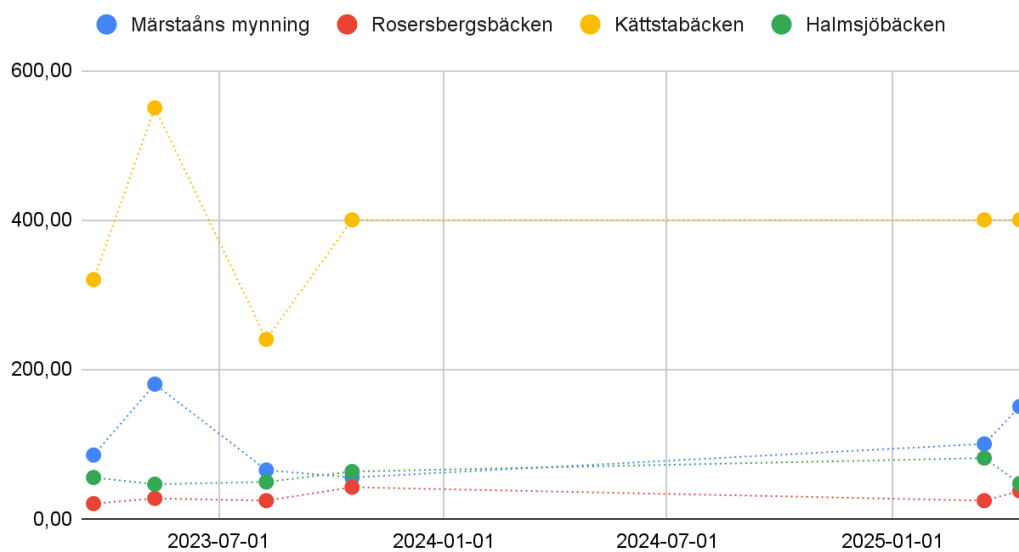
Nedan visualiseras Figurer baserade på ovanstående mätvärden för samtliga provpunkter.

Koncentrationer PFAS21 i Märstaån 2023-2025



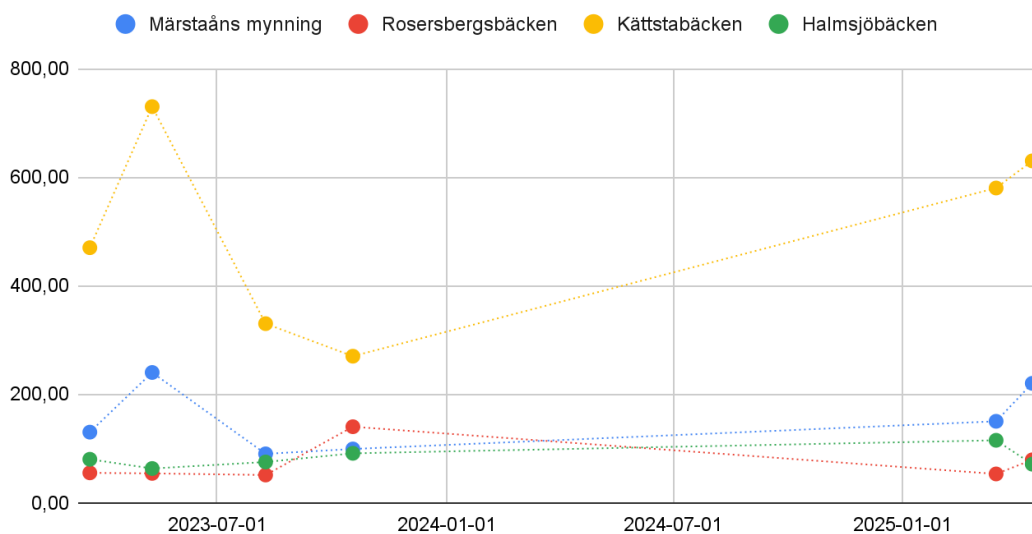
Figur E1: Koncentrationer PFAS21 i Märstaåns delar 2023-2025

Koncentrationer PFAS4 i Märstaån 2023-2025



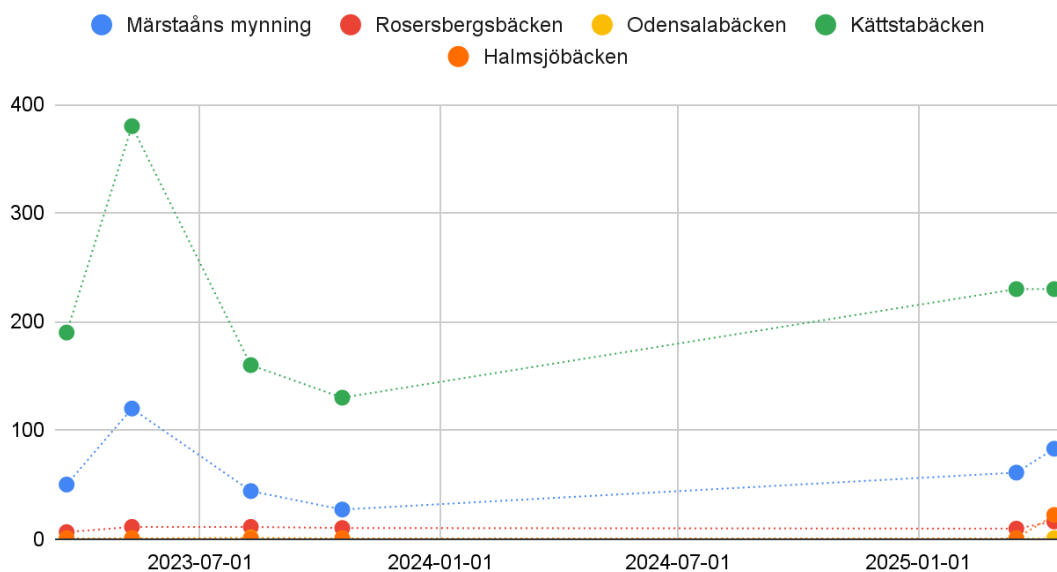
Figur E2: Koncentrationer PFAS4 i Märstaåns delar 2023-2025

Koncentrationer PFAS11 i Märstaån 2023-2025



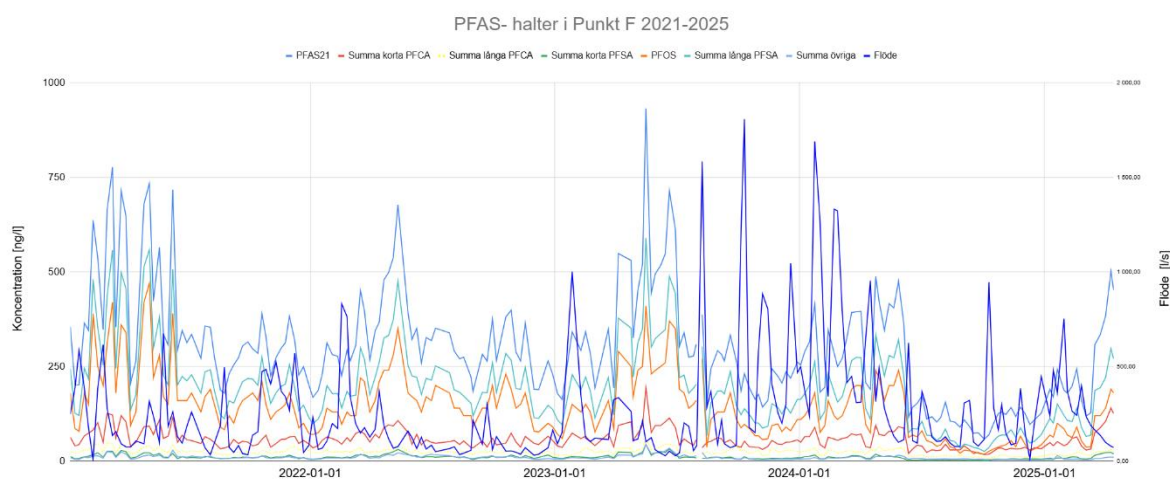
Figur E3: Koncentrationer PFAS11 i Märstaåns delar 2023-2025

Koncentrationer PFOS i Märstaån 2023-2025



Figur E4: Koncentrationer PFOS i Märstaåns delar 2023-2025

Rådata för PFAS-koncentrationer och flöde i Punkt F tillhandahålls från Swedavia mellan 2021-2025. I Figur E5 syns hur PFAS-koncentrationerna och flödet varierat under mätperioden.



Figur E5: Koncentrationer PFAS samt uppmätt flöde i Punkt F 2021-2025.

APPENDIX F- SAMMANSTÄLLNING AV MASSFLÖDEN

Tabell F1: Beräknat massflöde med osäkerhet för PFAS21, PFAS 4 och PFAS11

	PFAS21 (kg/år)	PFAS4 (kg/år)	PFAS11 (kg/år)
Märstaåns utlopp	2,784 ± 1,041	1,871 ± 0,700	2,729 ± 1,020
Rosersbergsbäcken	0,195 ± 0,076	0,079 ± 0,031	0,190 ± 0,074
Odensalabäcken	0,015 ± 0,006	0,010 ± 0,004	0,015 ± 0,006
Kättstabäcken	1,756 ± 0,693	1,190 ± 0,469	1,587 ± 0,626
Halmsjöbäcken	0,355 ± 0,143	0,237 ± 0,095	0,344 ± 0,138
Horssjön	0,0010 ± 0,0004	0,0003 ± 0,0001	0,0010 ± 0,0004
RY0	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,000	0,002 ± 0,001
Skvalet	0,158 ± 0,000	0,064 ± 0,000	0,154 ± 0,000

Tabell F2: Beräknat massflöde med osäkerhet för korta PFCA

	PFBA (kg/år)	PFPeA (kg/år)	PFHxA (kg/år)	PFHpA (kg/år)	Summa (kg/år)
Märstaåns utlopp	0,091 ± 0,034	0,224 ± 0,084	0,252 ± 0,094	0,155 ± 0,058	0,694 ± 0,260
Rosersbergsbäcken	0,020 ± 0,008	0,036 ± 0,014	0,031 ± 0,012	0,021 ± 0,008	0,106 ± 0,042
Odensalabäcken	0,005 ± 0,002	0,003 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,011 ± 0,005
Kättstabäcken	0,053 ± 0,021	0,123 ± 0,049	0,172 ± 0,068	0,104 ± 0,041	0,451 ± 0,178
Halmsjöbäcken	0,021 ± 0,008	0,027 ± 0,011	0,030 ± 0,012	0,021 ± 0,008	0,095 ± 0,038
Horssjön	0,0006 ± 0,0002	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	0,0001 ± 4,28399E-05	0,0009 ± 0,0003
				0,000 ±	
RY0	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,000 ± 0,000	4,87064E-05	0,002 ± 0,0005
Skvalet	0,014 ± 0,000	0,029 ± 0,000	0,026 ± 0,000	0,017 ± 0,000	0,086 ± 0,000

Tabell F3: Beräknat massflöde med osäkerhet för långa PFCA

	PFOA (kg/år)	PFNA (kg/år)	PFDA (kg/år)	PFUnA (kg/år)	PFDoA (kg/år)	Summa (kg/år)
	0,172 ± 0,064			0,007 ± 0,003	0,007 ± 0,003	0,199 ± 0,075
Märstaåns utlopp	0,020 ± 0,008	0,014 ± 0,005	0,007 ± 0,003	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,025 ± 0,010
Rosersbergsbäcken	0,002 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,004 ± 0,000
Odensalabäcken						

	0,001			0,000	0,000	0,002
Kättstabäcken	0,092 ± 0,036	0,004 ± 0,002	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,094 ± 0,037
Halmsjöbäcken	0,045 ± 0,018	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,048 ± 0,019
Horssjön	0,0001 ± 4,12E-05	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	± 4,0163E- 05	± 4,0163E- 05	0,0005 ± 0,0002
RY0	0,000 ± 5,34E-05	6,14952E-05 ± 2,00163E-05	6,14952E-05 ± 2,00163E-05	± 2,00163E- 05	± 2,00163E- 05	0,0004 ± 0,0001
Skvalet	0,016 ± 0,000	0,002 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,021 ± 0,000

Tabell F4: Beräknat massflöde med osäkerhet för korta PFSA

	PFBS (kg/år)	PFPeS (kg/år)	Summa (kg/år)
Märstaåns utlopp	0,075 ± 0,028	0,079 ± 0,029	0,148 ± 0,055
Rosersbergsbäcken	0,011 ± 0,004	0,006 ± 0,002	0,016 ± 0,006
Odensalabäcken	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,0005
Kättstabäcken	0,047 ± 0,019	0,067 ± 0,026	0,108 ± 0,043
Halmsjöbäcken	0,008 ± 0,003	0,009 ± 0,004	0,017 ± 0,007
Horssjön	0,0001 ± 4,71E-05	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	0,0002 ± 8,72872E-05
RY0	0,000 ± 4,07E-05	6,14952E-05 ± 2,00163E-05	0,0002 ± 6,07162E-05
Skvalet	0,009 ± 0,000	0,005 ± 0,000	0,014 ± 0,000

Tabell F5: Beräknat massflöde med osäkerhet för långa PFSA

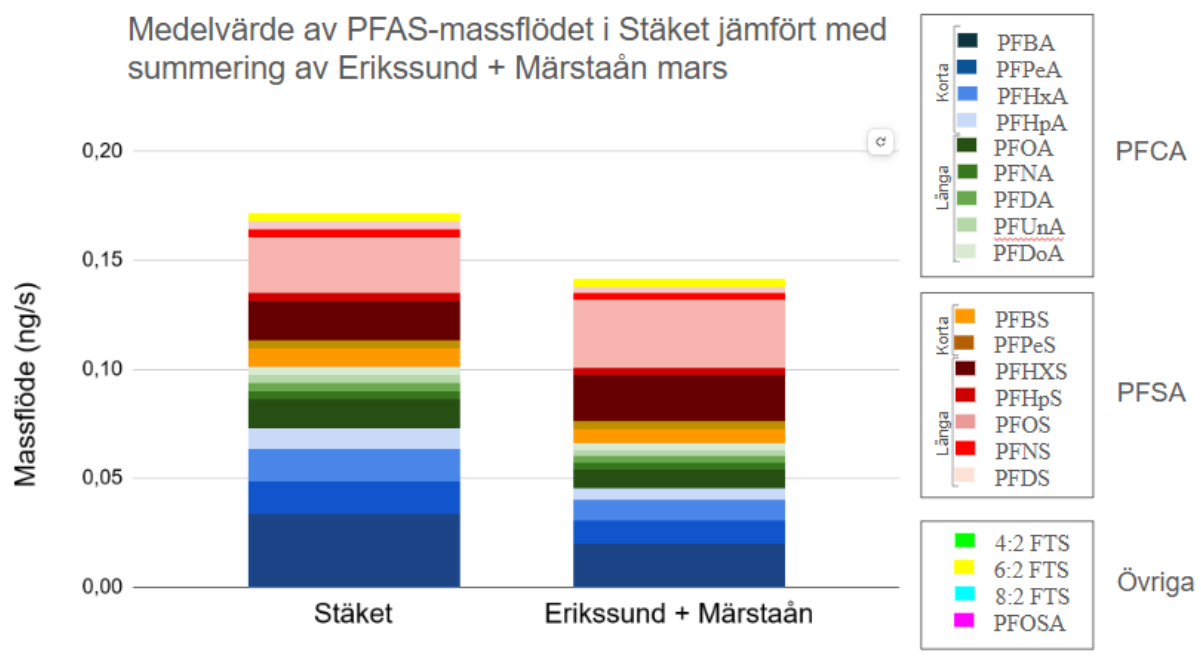
	PFHxS (kg/år)	PFHpS (kg/år)	PFOS (kg/år)	PFNS (kg/år)	PFDS (kg/år)	Summa (kg/år)
Märstaåns utlopp	0,519 ± 0,194	0,029 ± 0,011	1,170 ± 0,437	0,007 ± 0,003	0,007 ± 0,003	1,658 ± 0,620
Rosersbergsbäcken	0,026 ± 0,010	0,001 ± 0,000	0,030 ± 0,012	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,057 ± 0,022
Odensalabäcken	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,004 ± 0,002
Kättstabäcken	0,355 ± 0,140	0,029 ± 0,011	0,681 ± 0,269	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	1,007 ± 0,397
Halmsjöbäcken	0,089 ±	0,003 ± 0,001	0,102 ± 0,041	0,001 ±	0,001 ±	0,186 ±

	0,036			0,001	0,001	0,075
				9,97168E-05	9,97168E-05	
Horssjön	0,0002 ± 7,68E-05	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	7,31241E-05 ± 2,94522E-05	± 4,0163E-05	± 4,0163E-05	0,0006 ± 0,0002
				6,14952E-05	6,14952E-05	
RY0	0,000 ± 6,07E-05	6,14952E-05 ± 2,00163E-05	0,000 ± 5,80474E-05	± 2,00163E-05	± 2,00163E-05	0,001 ± 0,0002
Skvalet	0,021 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,025 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,049 ± 0,000

Tabell F6: Beräknat massflöde med osäkerhet för övriga PFAS

	4:2 FTS (kg/år)	6:2 FTS (kg/år)	8:2 FTS (kg/år)	PFOSA (kg/år)	Summa (kg/år)
Märstaåns utlopp	0,007 ± 0,003	0,073 ± 0,027	0,007 ± 0,003	0,014 ± 0,005	0,101 ± 0,038
Rosersbergsbäcken	0,001 ± 0,000	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,005 ± 0,002
Odensalabäcken	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,002 ± 0,001
Kättstabäcken	0,001 ± 0,000	0,035 ± 0,014	0,001 ± 0,000	0,008 ± 0,003	0,046 ± 0,018
Halmsjöbäcken	0,001 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,006 ± 0,002
Horssjön	0,0000 ± 0,0000	9,97168E-05 ± 4,0163E-05	0,0000 ± 0,0000	0,0000 ± 0,0000	9,97168E-05 ± 4,0163E-05
		6,14952E-05 ± 2,00163E-05			6,14952E-05 ± 2,00163E-05
RY0	0,000 ± 0,000	2,00163E-05	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	2,00163E-05
Skvalet	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,001 ± 0,000	0,004 ± 0,000

I Figur F1 visualiseras massflödet i Erikssund och Märstaån jämfört med massflödet i Stäket placerat nedströms. Resultaten är momentana medelvärden i ng/s baserat på två mättillfällen. Ur figuren syns en viss oidentifierad kvot på cirka 17%.



Figur F1: Summering av massflöde i Erikssund och Märstaån jämfört med Stäket under mars/april 2025.

För provpunkterna inom Märstaåns avrinningsområde gjordes en alternativ beräkning för vattenföringen, och därefter massflödet. Beräkningen baserades på att specifik avrinning antogs vara samma i samtliga delar av Märstaåns avrinningsområde. Vattenföringen i varje provpunkt beräknades enligt Ekvation (1):

$$Q_{punkt} = \frac{Q_{ref} \times A_{punkt}}{A_{ref}} \quad (1)$$

I ekvationen innebär $Q_{ref} \left[\frac{m^3}{år} \right]$ och $A_{ref} [m^2]$ vattenföring och area för avrinningsområde för referenspunkt, och $Q_{punkt} \left[\frac{m^3}{år} \right]$ och $A_{punkt} [m^2]$ motsvarande termer för studerad provpunkt. Referenspunkterna Skvalet och Punkt F används för beräkningarna. I Tabell F7 presenteras resultat för PFAS21, och i Tabell F8 för PFAS4.

Tabell F7: Beräknat massflöde PFAS21 jämfört med motsvarande beräkningar baserat vattenföring från Ekvation (1).

	Beräknat (kg/år)	Ref Punkt F (kg/år)	Ref Skvalet (kg/år)
Märstaåns utlopp	2,78	3,54	2,36
Rosersbergsbäcken	0,195	0,218	0,145
Odensalabäcken	0,0154	0,0937	0,0139
Kättstabäcken	1,756	2,09	3,11
Halmsjöbäcken	0,355	0,384	0,651
Horssjön	0,00099	0,00366	0,00366
RY0	0,00225	0,00486	0,00486
Skvalet	0,158	0,118	0,118

Tabell F8: Beräknat massflöde PFAS4 jämfört med motsvarande beräkningar baserat vattenföring från Ekvation (1).

	Beräknat (kg/år)	Ref Punkt F (kg/år)	Ref Skvalet (kg/år)
Märstaåns utlopp	1,87	2,246	1,49
Rosersbergsbäcken	0,0786	0,0769	0,0513
Odensalabäcken	0,0102	0,0157	0,00232
Kättstabäcken	1,19	1,35	2,004
Halmsjöbäcken	0,237	0,239	0,406
Horssjön	0,000269	0,00105	0,00105
RY0	0,000533	0,00115	0,00115
Skvalet	0,0641	0,0430	0,043