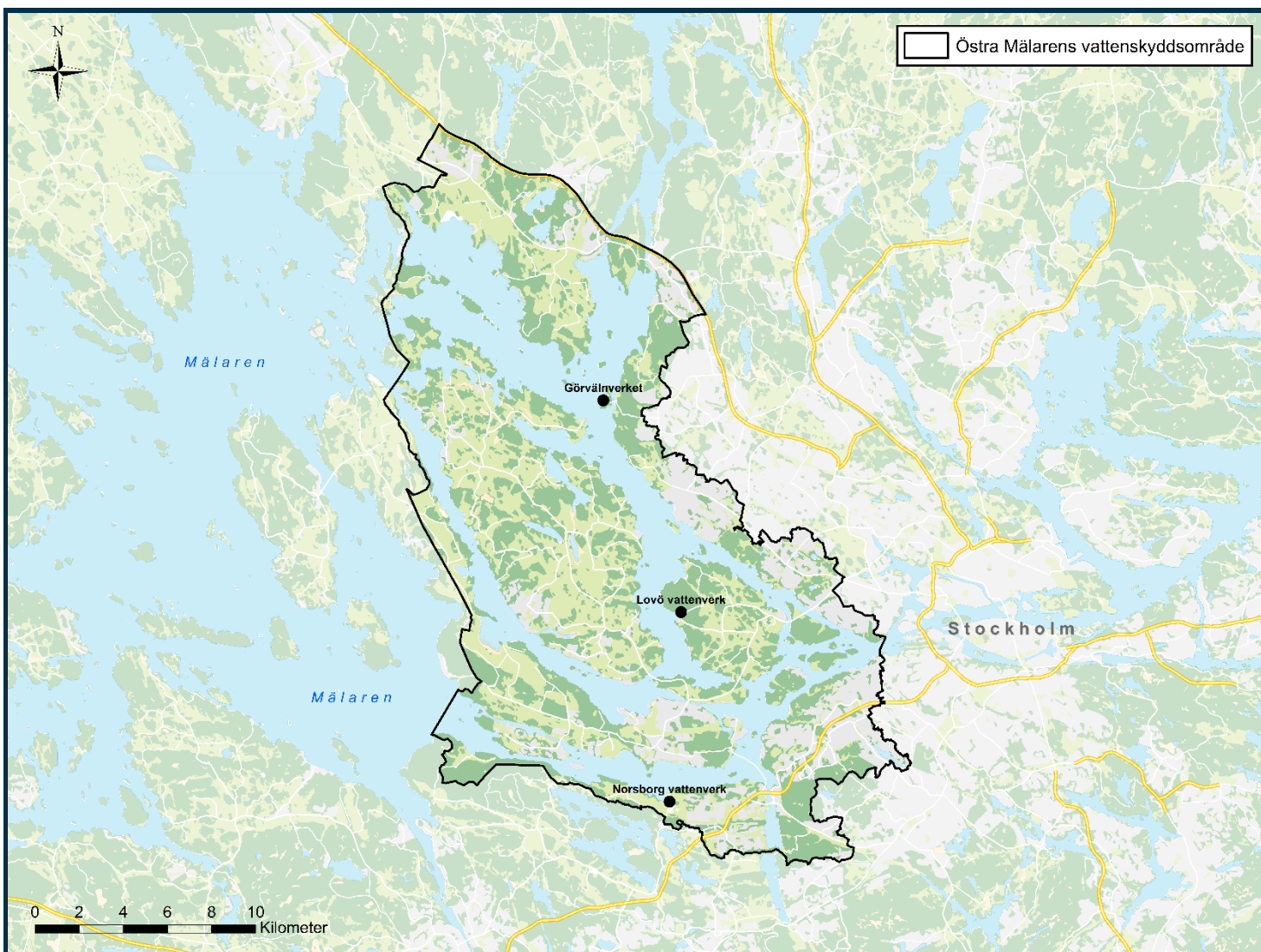




Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde

Delstudie inom projektet Fokus på PFAS i Östra
Mälarens Vattenskyddsområde



Tillsammans för världens
mest hållbara stad



STOCKHOLM
VATTEN
OCH AVFALL

© Stockholm Vatten och Avfall 2023

Författare: Frida Ekman, frida.ekman@svoa.se, Helene Ejhed, helene.ejhed@norrvatten.se

Rapporten citeras: Ekman och Ejhed (2023) Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde, Delstudie inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde

Stockholm Vatten och Avfall

Diarienummer SVOA: 23SVOA1374

Diarienummer Norrvatten: NV2023-272, rapportnummer: 2023-11

Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten och Avfall, 106 36 Stockholm

Telefon: 08-522 120 00

Webb: www.svoa.se

Sammanfattning

Per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) utgör idag en global utmaning då deras breda användning och stora spridning i miljön bidragit till att de idag kan antas finnas i hela världen och i nästan alla människor (KEMI, 2023a; Kurwadkar et al., 2022). En av vägarna som människor exponeras för PFAS är dricksvatten (Brunn et al., 2023) och den 1 januari 2026 börjar nya gränsvärden för PFAS i dricksvatten gälla i Sverige i enlighet med de nya dricksvattenföreskrifterna LIVSFS 2022:12 (Livsmedelsverket, 2023). Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) använder råvatten från Östra Mälaren för att producera dricksvatten till över 2 miljoner människor i Stockholmsregionen. För att säkerställa att Östra Mälaren kan användas som råvattentäkt även i framtiden arbetar Norrvatten och SVOA aktivt med uppströmsarbete för att långsiktigt minska föroreningsbelastningen på Mälaren och PFAS är en fråga som är högt prioriterad. Mälarens vatten har låga halter PFAS men det nya riktvärdet (gränsvärde från år 2026) för Σ_4 PFAS på 4 ng/l är mycket lågt och halter i östra Mälaren ligger precis på gränsen.

Hösten 2022 initierade Norrvatten projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde*, finansierat av Länsstyrelsen, där Norrvatten tillsammans med SVOA, Stockholms stad, Järfälla och Ekerö kommun samarbetat för att bygga vidare på resultaten från en kartläggning och massbalans för Görvälnbassängen som sammanställdes av Norrvatten under våren 2022 (Ekman och Ejhed, 2022). Syftet med projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* är att öka kunskapen om PFAS-flöden och källor i Östra Mälaren för att långsiktigt minska PFAS-belastningen på Mälaren och åtgärda PFAS vid utsläppskällorna. Projektet ger ökad kunskap till arbetet med att prioritera de områden där åtgärder av PFAS borde sättas in för att skydda Östra Mälaren och dricksvattenproduktionen. Projektet bestod dels av en utredning av misstänkta PFAS-källor i de tre kommunerna vilket leddes av NIRAS (NIRAS Sweden AB, 2023) dels ett examenarbete som utredde PFAS-belastningen från deponier inom Östra Mälarens VSO (Hård af Segerstad, 2023) samt denna rapport som ämnat att uppdatera och utvidga den tidigare massbalansen med nytilkommen data insamlad i projektet, inklusive delresultat från de andra rapporterna.

På samma sätt som i den tidigare massbalansen (Ekman och Ejhed, 2022), undersöktes i detta projekt PFAS-belastningen (kg/år för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS och PFOS) från ytvatten (vattendrag och närliggande delbassänger), nederbörd, markanvändning, brandskum, enskilda avlopp och avfallsanläggningar. Utvidgningen bestod i att en massbalans beräknades för hela Östra Mälarens Vattenskyddsområde (VSO) vilket innefattar delbassängerna Görväln (innefattar råvattentäkten för Görvälnverket (Norrvatten) samt Lovö vattenverk (SVOA)) och Rödstensfjärden (innefattar råvattentäkten för Norsborg vattenverk (SVOA)). Beräkningar av massflöden i in- och utlopp mellan delbassänger baserades på data insamlad vid fyra tillfällen mellan 2022 och 2023. För den utvidgade massbalansen användes i övrigt samma data och metodik som för tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022). Resultat och slutsatser från projektet sammanfattas nedan för respektive delområde med avseende på Σ_4 PFAS.

Östra Mälaren Vattenskyddsområde

Det är första gången en kartläggning över PFAS-flöden görs för hela Östra Mälaren och dess delbassänger tack var mätningar i in- och utlopp av delbassängerna utförda i detta projekt. Mätningarna möjliggjorde jämförelse av mängd PFAS tillförd inom Mälarens avrinningsområde från västra och nordöstra Mälaren, liksom inom delavrinningsområdena för Östra Mälarens Vattenskyddsområde. Resultaten visar att Västra Mälaren bidrar med största andelen av massflödet av PFAS till Mälaren (54 % av totala massflödet av PFAS vid Mälarens utlopp) vilket främst kan kopplas till den dominerande andelen av vattenflödet (85 %) området bidrar med till Mälaren. Både Östra Mälaren och Nordöstra Mälaren utmärkte sig dock med att bidra med hög andel PFAS till Mälaren (27 % respektive 20 %) i relation till deras betydligt mindre bidrag till vattenflödet (1 % respektive 15 %). För Östra Mälaren kan en stor del av det tillförda massflödet av PFAS till Mälaren härledas till avrinningsområdet för delbassängen Fiskarfjärden, vilken ligger vid Mälarens utlopp och nedströms samtliga vattenverk.

Görväln

Görväln är vattenresurs för Görvälnverket och Lovö vattenverk där Σ_4 PFAS halten pendlar runt det nya gränsvärdet för dricksvatten, vilket medför kostsamma behov av ökad rening i vattenverken om inte råvattenkvaliteten förbättras. Massan av PFAS per år beräknad på alla inflöden av vatten var lika stor som utflödet från Görväln med hänsyn tagen till felmarginaler för beräkningarna. Det innebär att PFAS kommer till Görväln framför allt från närliggande bassängerna i Västra Mälaren (41 % från N. Björkfjärden) och från Nordöstra Mälaren (36 % från Skarven) samt 17 % från Långtarmen. Halten i inflödet från Skarven är mer än dubbelt så hög som halten i inflödet från N. Björkfjärden vilket visar att Nordöstra Mälaren har källor med kraftig förorening av PFAS i området. Belastningen på Görväln av PFAS från nordöstra Mälaren kan spåras hela vägen till betydande spridning via Märstaån, där t.ex. Arlanda har stort bidrag, och Fyrisån, där t.ex. Årnaområdet har stort bidrag. Bidragen av PFAS inom Görvälns vattenförekomstområde från diffusa källor är små (2 %) i förhållande till inflödena från närliggande bassänger. Brobäcken, (spridningsväg till Mälaren nedströms Högbypörp avfallsanläggning), är som enskilt inflöde en betydande PFAS-källa till Görväln (ca 3 %). Resultaten visar därmed likt tidigare massbalans, att Görväln främst påverkas av uppströms källor av PFAS, varför det är av stor betydelse att kända PFAS-källor som är mycket förorenade uppströms Görväln åtgärdas.

Rödstensfjärden

Trots att låga halter PFAS återfinns i Rödstensfjärdens inlopp samt vid Norsborg vattenverk (lägre än halterna i Görväln) kan det konstateras att det tillförs en relativt stor mängd PFAS inom Rödstensfjärdens avrinningsområde (17 % av totala utflödet). En betydande andel av inflödet till Rödstensfjärden tillförs från Albysjön (5 %) men övrig mängd har okänt ursprung. Likt slutsatserna kopplat till Fiskarfjärden tros det bero på en hög andel tätbebyggda områden inom avrinningsområdet (framför allt närmare utloppet, nedströms Norsborg) med många mindre/medelstora utsläppspunkter av PFAS (exempelvis deponier, mindre avfallsanläggningar, dagvatten eller andra verksamheter). Detta medför att Rödstensfjärdens i sitt utlopp har ungefär samma halt som den vid Görvälns utlopp och belyser vikten av att åtgärder även görs i Rödstensfjärden, särskilt kopplat till Albysjön och områden nedströms Norsborg.

Summerande slutsatser och kommentarer

Kartläggningen och massbalanserna av PFAS visar att det går att identifiera enstaka inflöden och områden som har relativt stor påverkan på råvattenkvaliteten vid vattenverken Görväln, Lovö och Norsborg. De är; nordöstra Mälaren med inflöden från Fyrisån och Märstaån, Brobäcken och Albysjön.

Som dricksvattenproducent är uppströmsarbete ett viktigt verktyg för att kartlägga föroreningskällor så att åtgärder föreläggs vid källan, vilket säkrar en god kvalitet på vårt dricksvatten och gör vår dricksvattenproduktion mindre känslig för framtida utmaningar och risker. Exempelvis indikerar resultaten från detta projekt, att om hela tillflödet av massan Σ_4 PFAS skulle stoppas från Fyrisån (där t.ex. Årnaområdet har betydande bidrag) och Märstaån (där t.ex. Arlanda har betydande bidrag), skulle i teorin massan av Σ_4 PFAS in till Görväln minska med 30-40 %. Vilket betyder att halten i Görväln skulle minska från dagens drygt 4 ng/l till ca 2-3 ng/l. Det skulle innebära att gränsvärdet för Σ_4 PFAS i dricksvatten skulle klaras – om än baserat på teoretiska uppskattningar

Resultaten i den här rapporten är i linje med tidigare rapport om Görväln, och resultaten är nu säkrare så att hela belastningen har kunnat beräknas från olika källor på Görväln tack vare de nya mätdata som tagits fram i det här projektet. Resultaten visar dock att det även finns många idag okända mindre/medelstora utsläppspunkter som tillsammans bidrar till inflödet av PFAS till hela Östra Mälarens vattenskyddsområde och vidare ut till Östersjön. Mycket tyder på att en sådan belastning kan härledas till tätt bebodda områden, exempelvis Fiskarfjärdens avrinningsområde och östra delen av Rödstensfjärden. Det belyser behovet av att utföra mer grundliga undersökningar av PFAS i framför allt deponier runt Mälaren, brandövningsplatser och dagvatten kring Stockholm för att kartlägga var de större läckagen finns och härleda dessa till en utsläppskälla. Utöver åtgärder vid de kraftigt förorenade kända områden som beskrivits i den här rapporten så bör fortsatta studier fokusera på att identifiera betydande PFAS-källor i hela Mälaren för att få ett helhetsperspektiv på PFAS-problematiken och för att kunna prioritera åtgärder till de mest betydande källorna.

Summary

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) today pose a global challenge as their wide use and large spread in the environment has contributed to the fact that they can today be assumed to be present throughout the world and in almost all people (KEMI, 2023a; Kurwadkar et al., 2022). One of the ways people are exposed to PFAS is drinking water (Brunn et al., 2023) and on January 1, 2026, a new limit values for PFAS in drinking water will apply in Sweden in accordance with the new drinking water regulations LIVSFS 2022:12 from the Swedish food Agency. Norrvatten and Stockholm Water and Waste Company (SVOA) use raw water from the Eastern part of Lake Mälaren (Eastern Mälaren) to produce drinking water for over 2 million people in the Stockholm region. To ensure that the raw water will continue to be of good quality also in the future, Norrvatten and SVOA are actively working with upstream work in which PFAS is an issue of high priority. Lake Mälaren's water has low concentrations of PFAS, but the new guidance value (limit value from year 2026) for $\sum_4$ PFAS of 4 ng/l is very low and concentrations in Eastern Mälaren are just on the margin of the new limit value.

In the fall of 2022, Norrvatten initiated the project *Focus on PFAS in the Eastern Mälaren Water Protection Area*, funded by the County Administrative Board. In the project Norrvatten together with SVOA, Stockholm City, Järfälla and Ekerö municipality collaborated to build on the results from a mapping and mass balance for the Görvåln basin compiled by Norrvatten in the previous year (Ekman and Ejhed, 2022). The purpose of the project *Focus on PFAS in the Eastern Mälaren Water Protection Area* was to increase knowledge about PFAS flows and sources in Eastern Mälaren in order to reduce the PFAS load on Mälaren in the long term and to remediate PFAS at the emission sources. The project consisted partly of an investigation led by NIRAS of suspected PFAS sources in the three municipalities (NIRAS Sweden AB, 2023), partly of a master thesis project that investigated the PFAS load from landfills within Eastern Mälaren Water Protection Area (WPA) (Hård af Segerstad, 2023) and this report which intended to update and expand the previous mass balance with newly added data collected in the project.

In the same way as in the previous mass balance (Ekman and Ejhed, 2022), this project investigated the PFAS load (kg/year for $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS and PFOS) from surface water (rivers and nearby sub-basins), precipitation, land use, firefighting-foam, on-site wastewater treatment plants and landfills. The expansion consisted of a mass balance being calculated for the entire Eastern Mälaren WPA which includes the sub-basins Görvåln (includes the raw water for Görvåln water works (Norrvatten) and Lovö water works (SVOA)) and Rödstensfjärden (includes the raw water for Norsborg water works (SVOA)). Calculations of mass flows in inlets and outlets between sub-basins were based on data collected on four occasions between 2022 and 2023. For the extended mass balance, the same data and methodology were otherwise used as for the previous mass balance (Ekman and Ejhed, 2022). Below are results and conclusions from the project presented in terms of $\sum_4$ PFAS.

Eastern Mälaren Water Protection Area

It is the first time that a mapping of PFAS flows has been done for the entire Eastern Mälaren and its sub-basins thanks to measurements in the inlet and outlet of the sub-basins carried out in this project. The measurements made it possible to compare the amount of PFAS supplied within Mälaren's catchment area from western and north-eastern part of Mälaren, as well as within the catchment area of Eastern Mälaren WPA. The results show that western Mälaren contributes the largest share of the mass flow of PFAS to Lake Mälaren (54% of the total mass flow of PFAS at Lake Mälaren's outlet), which can primarily be linked to the dominant share of the water flow (85%) the area contributes to Lake Mälaren. However, both Eastern Mälaren and north-eastern Mälaren distinguished themselves by contributing a high percentage of PFAS to Mälaren (27% and 20% respectively) in relation to their significantly smaller contribution to the water flow (1% and 15% respectively). For Eastern Mälaren, a large part of the added mass flow of PFAS to Mälaren can be derived to the catchment area of the sub-basin Fiskarfjärden, which is located at Mälaren's outlet and lies downstream of all water works.

Sub-basin Görvåln

Görvåln is a raw water resource for Görvåln water works and Lovö water works where the Σ_4 PFAS concentration oscillates around the new limit value for drinking water, which entails costly needs for increased purification in the water works if the raw water quality is not improved. The mass of PFAS per year calculated on all inflows of water was as large as the outflow from Görvåln, taking into account error margins for the calculations. This means that PFAS comes to Görvåln primarily from the nearby basins in Western Mälaren (41 % from N. Björkfjärden) and from north eastern Mälaren (36 % from Skarven) and 17 % from the sub-basin Långtarmen. The load on Görvåln of PFAS from north eastern Mälaren can be traced all the way to significant mass flows from the river Märstaån, where e.g. Arlanda Airport has a large contribution, and Fyrisån, where e.g. The Ärna area has a large contribution. The contributions of PFAS within the catchment area of Görvåln from diffuse sources are small (2 %) in relation to the inflows from nearby basins. The river Brobäcken, (in which catchment area Högbypörp waste facility is located), is as a single inflow a significant source of PFAS to Görvåln (3 %). The results thus show, like the previous mass balance, that Görvåln is primarily affected by upstream sources of PFAS, which is why it is of great importance that known PFAS sources upstream of Görvåln are treated.

Sub-basin Rödstensfjärden

Despite the fact that low concentrations of PFAS are found in Rödstensfjärden's inlet and at Norsborg water works (lower than the concentrations in Görvåln), it can be stated that a relatively large amount of PFAS (17 % of the total outflow) is added within Rödstensfjärden's catchment area. A significant part of the inflow to Rödstensfjärden is supplied from Albysjön (5 %), but the remaining amount is of unknown origin. Like the conclusions for Fiskarfjärden, this amount is believed to be due to a high proportion of densely built-up areas within the catchment area (especially closer to the outlet, downstream of Norsborg) which could mean the presence of many small/medium-sized release points of PFAS (for example landfills, small waste facilities, storm water or other activities). This means that Rödstensfjärden's outlet has approximately the same concentration as that at Görvåln's outlet.

Summary and comments

The mapping and mass balances of PFAS show that it is possible to identify single inflows and areas that have a relatively large impact on the raw water quality at Görvåln, Lovö and Norsborg water works. They are; north eastern Mälaren with inflows from Fyrisån and Märstaån, Brobäcken and Albysjön.

As a drinking water producer, upstream work is an important tool for mapping pollution sources so that measures are taken at the pollution source, which ensures a good quality of our drinking water and makes our drinking water production less sensitive to future challenges and risks. For example, the results from this project indicate that if the entire inflow of Σ_4 PFAS were to be stopped from Fyrisån (where e.g. the Ärna area has a significant contribution) and Märstaån (where e.g. Arlanda has a significant contribution), in theory the mass of Σ_4 PFAS in to Görvåln will be reduce by approx. 30-40 %. Which means that the concentration in Görvåln would decrease from today's approx. 4 ng/l to about 2-3 ng/l. This would mean that concentrations would fall under the limit value for Σ_4 PFAS in drinking water – although based on rough theoretical estimates.

The results show that there are also many today unknown small/medium size emission points which together contribute to a large part of the inflow of PFAS into the Eastern Mälaren WPA and further out to the Baltic Sea. The results from this study indicates that such a load can be derived from densely populated areas, as for example Fiskarfjärden's catchment area. It highlights the need to carry out more thorough investigations of PFAS in, above all, landfills around Lake Mälaren, fire-fighting training sites and storm water around Stockholm in order to map where the larger leaks are and derive these to a source. In addition to measures at the heavily polluted known areas described in this report, further studies should be carried out to identify significant PFAS sources throughout Lake Mälaren in order to get a holistic perspective on the PFAS problem and to be able to prioritize measures to the most significant sources.

Förblad

Detta projekt hade inte varit möjligt utan finansieringen från Stockholm Länsstyrelse liksom hjälpen av många människor som på olika sätt bistått med kunskap, data och engagemang.

Särskilt stort tack riktas till projektgruppen inom Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde, utan vilkas engagemang och intresse detta projekt inte hade blivit av: Emelie Westerberg, Anneli Åstebro, Lisa Schild och Lotte Minas från Järfälla kommun, Miriam Ödesjö, Pia Stålnacke och Jessica Duf från Ekerö kommun liksom Maria Pettersson och Åsa Andersson från Stockholms stad. Särskilt tack även till Lisa Wåhländer på Norrvatten som bidragit till mycket värdefull input, diskussioner och granskning av rapporten.

Stort tack även till Linda Karlsson, Matilda Schütz, Louise Berggren (examensarbetare) och Katrin Holmström på NIRAS Sweden AB för väl genomförd kartläggning av PFAS-källor inom de tre kommunerna, liksom Elsa Hård af Segerstad för sitt exjobb som bidrog med mycket värdefull information om deponier inom vattenskyddsområdet.

Stort tack riktas även till aktörer som på andra sätt bistått till projektet med data och värdefulla diskussioner:

Tommy Holmgren & Gunnar Edlund, Fortifikationsverket
Josefine Agerberg & Danielle Nevelius, Försvarsmakten
Eva Bivall, Lovisa Stjernman, Emma Bivall, Anders Gustafson & Anders Hagevi, Ragn-Sells
Sofia Westling & David Prytz, Swedavia
Godecke-Tobias Blecken & Suna Ekin Kali, Luleå Tekniska Universitet
Zahrah Lifvendahl, Fyrisåns Vattenvårdsförbund

Samt tack till alla de som bidragit till tidigare massbalansen vilken vi fortfarande baserar många av våra beräkningar på:

Lutz Ahrens, SLU
Karin Norström, Naturvårdsverket
Lars Rosenquist, SGU
Robin Vestergren, Kemikalieinspektionen
Julia Säfström, Ragnsells
Jenny Pirard, SVOA
Mikael Olshammar, IVL
Katarina Hansson, IVL
Johan Temnerud, SMHI
Elin Widén Nilsson, SLU
Daniel Malnes, SLU
Lena Löfdahl, Järfälla kommun
Henrik Rundquist & Dag Kempe, Ekerö kommun
Marcus Frenzel, Käppala
Anna Vestling, Svenskt vatten
Lars-Erik Kroon, Brandkåren Attunda
Erika Wester, Storstockholms Brandförsvär

Ordlista

AFFF	Aqueous film forming foam
ECHA	European Chemicals Agency
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Environmental protection agency (USA)
Hydrofil	Ämnet löser sig i vatten
Lipofil	Ämnet löser sig i fett (ofta även hydrofobt: tenderar att inte komma i kontakt med vatten)
LOQ	Limit of quantification
Prekursorer	PFAS som kan bytas ner till mer stabila PFAS
SUBID	Ett unikt nummer för ett delavrinningsområde
VARO	Vattenförekomstavrinningsområde
VSO	Vattenskyddsområde

Nedan listas vilka PFAS som ingår i olika summer som kommer omnämnas i rapporten.

Olika PFAS		$\sum_4$ PFAS	$\sum_9$ PFAS	$\sum_{9-}$ PFAS	$\sum_{10}$ PFAS	$\sum_{11}$ PFAS	$\sum_{20}$ PFAS	$\sum_{21}$ PFAS	$\sum_{24}$ PFAS
PFBA	Perfluorbutansyra		x		x	x	x	x	x
PFPeA	Perfluorpentansyra		x	x	x	x	x	x	x
PFHxA	Perfluorhexansyra		x	x	x	x	x	x	x
PFHpA	Perfluorheptansyra		x	x	x	x	x	x	x
PFOA	Perfluoroktansyra	x	x	x	x	x	x	x	x
PFNA	Perfluornonansyra	x	x	x	x	x	x	x	x
PFDA	Perfluordekansyra			x	x	x	x	x	x
PFUnDA	Perfluorundekansyra						x	x	x
PFDoDA	Perfluordodekansyra						x	x	x
PFTTrDA	Perfluortridekansyra						x	x	x
PFBS	Perfluorbutansulfonsyra		x	x	x	x	x	x	x
PFPS	Perfluorpentansulfonsyra						x	x	x
PFHxS	Perfluorhexansulfonsyra	x	x	x	x	x	x	x	x
PFHpS	Perfluorheptansulfonsyra						x	x	x
PFOS	Perfluoroktansulfonsyra	x	x	x	x	x	x	x	x
PFNS	Perfluornonansulfonsyra						x	x	
PFDS	Perfluordekansulfonsyra						x	x	x
PFUnDS	Perfluorundekansulfonsyra						x	x	
PFDoDS	Perfluordodekansulfonsyra						x	x	
PFTTrDS	Perfluortridekansulfonsyra						x	x	
6:2 FTS	Fluortelomersulfonsyra					x		x	
PFTeDA	Perfluortetradekansyra								x
PFHxDA	Perfluorhexadekansyra								x
PFODA	Perfluoroktadekansyra								x
HFPO-DA (GenX)	Ammoniumperfluor(2-metyl3-oxahexanoat)								x
ADONA	Propionsyra/ammonium 2,2,3-trifluor-3-(1,1,2,2,3,3- hexafluor-3-(trifluormetoxi) propoxi)propanoat								x
6:2 FTOH	Fluortelomer 6:2-alkohol								x
8:2 FTOH	Fluortelomer 8:2-alkohol								x
	Ättiksyra/2,2-difluor-2-((2,2,4,5-tetrafluor-5-(trifluormetoxi)- 1,3-dioxolan-4-yl)oxi)- (C6O4)								x
TFA	Trifluorättisyra								

Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	11
1.1 SYFTE OCH MÅL	11
1.2 AVGRÄNSNING	12
2. BAKGRUND	12
2.1 SLUTSATSER FRÅN TIDIGARE MASSBALANS	12
2.2 OM PFAS	13
2.3 KÄLLOR TILL PFAS.....	14
2.4 PFAS OCH REGELVERK	15
2.4.1 PFAS i dricksvatten	15
2.5 PFAS I VÄRLDEN, SVERIGE OCH MÄLAREN.....	17
2.5.1 Sverige och Mälaren.....	17
3. METOD	19
3.1 DATA FÖR BERÄKNING AV PFAS-MASSFLÖDEN	21
3.1.1 Vattendrag, sjöar och bassänger.....	21
3.1.2 Nederbörd.....	29
3.1.3 Deponier	30
3.1.4 Markanvändning	32
3.1.5 Brandskumsplatser	32
3.1.6 Enskilda avlopp.....	32
3.1.7 Punktkällor i Stockholms stad, Järfälla och Ekerö kommun.....	33
3.1.8 Fyrisån	34
4. RESULTAT	34
4.1 MASSBALANS FÖR ÖSTRA MÄLARENS VSO	35
4.2 MASSBALANS FÖR GÖRVÄLN.....	40
4.3 MASSBALANS FÖR RÖDSTENSEFJÄRDEN	41
4.4 UTBLICK MOT RESTEN AV MÄLAREN.....	43
4.4.1 Massflöde från västra, nordöstra och östra Mälaren	43
4.4.2 Massflöden från nordöstra Mälaren	43
4.5 FELMARGINAL OCH OSÄKERHET I BERÄKNINGARNA	47
5. DISKUSSION	49
5.1 ÖSTRA MÄLAREN VSO	49
5.2 MASSBALANS FÖR GÖRVÄLN.....	50
5.3 MASSBALANS FÖR RÖDSTENSEFJÄRDEN	50
5.4 MASSFLÖDEN FRÅN VATTENDRAG I NORDÖSTRA MÄLAREN	51
5.5 OKÄNDA KÄLLOR TILL PFAS TILL ÖSTRA MÄLAREN	51
5.6 OSÄKERHETER.....	52
5.7 FORTSATTA STUDIER	52
6. SLUTSATS	53
7. REFERENSER.....	55
8. APPENDIX.....	58
8.1 DATAUNDERLAG	58
8.1.1 PFAS-data för ytvatten	58
8.1.2 Vattenflöde.....	62
8.1.3 Data för Fyrisån	64
8.1.4 Nederbördsdata	67
8.2 METODIK MASSFLÖDEN I FYRISÅN	69
8.2.1 Mätningar i Fyrisån	69
8.2.2 Jämförelse av uppmätta PFAS-halter olika år i Fyrisån	71

8.2.3	<i>Beräkning av massflöde från Fyrisån</i>	72
8.3	RESULTAT MASSFLÖDEN ENSKILDA KÄLLOR: ÖSTRA MÄLARENS VSO	72
8.3.1	<i>Nederbörd</i>	72
8.3.2	<i>Markanvändning</i>	73
8.3.3	<i>Brandskumsplatser</i>	73
8.3.4	<i>Enskilda avlopp.....</i>	73
	RESULTAT MASSFLÖDEN ENSKILDA KÄLLOR: RÖDSTENSFJÄRDEN.....	73
8.3.5	<i>Nederbörd</i>	73
8.3.6	<i>Markanvändning</i>	74
8.3.7	<i>Brandskum.....</i>	74
8.3.8	<i>Enskilda avlopp.....</i>	74
8.4	RESULTAT MASSFLÖDEN FRÅN YTVATTEN	74

1. Inledning

Per- och polyfluorerade alkylsubstanter (PFAS) utgör idag en global utmaning då deras breda användning och stora spridning i miljön bidragit till att de idag kan antas finnas i hela världen och i nästan alla människor (KEMI, 2023a; Kurwadkar et al., 2022). Gruppen består av minst 10 000 ämnen vilka alla i någon mån räknas som persistenta, bioackumulerande och toxiska. PFAS finns idag i en mängd produkter, allt från kosmetika och köksprodukter, till kläder och brandskum. Detta medför också att spridningsvägarna till miljön är många och då de är mycket svåra att destruera är det tyvärr idag mycket svårt att strypa cirkulationen av PFAS i miljön.

En av vägarna som människor exponeras till PFAS är dricksvatten (Brunn et al., 2023) och den 1 januari 2026 börjar två nya gränsvärden för PFAS i dricksvatten gälla i Sverige i enlighet med de nya dricksvattenföreskrifterna LIVSFS 2022:12, Σ_{21} PFAS på 100 ng/l samt Σ_4 PFAS på 4 ng/l. Sverige har satt gränsvärdet för Σ_4 PFAS baserat på EFSA:s rekommendation om tolerabla veckointag (TVI), och i Sverige innebär det nya gränsvärdet för Σ_4 PFAS en kraftig sänkning från den tidigare åtgärdsgränsen. Livsmedelsverket har beslutat att gränsvärdena gäller som riktvärden tills de träder i kraft 2026. De gränsvärden som är satta i Sverige, men även i Danmark och USA, är nu så låga att de närmar sig de bakgrundshalter vi idag ser av PFAS i miljön (Cousins et al., 2022). Flera vattenverk runt om i Sverige kommer behöva implementera nya reningssteg för att ta höjd för det nya gränsvärdet (Livsmedelsverket et al., 2021) men att rena PFAS i dricksvattenverken är en kortsiktig och ineffektiv lösning på PFAS-problematiken (Brunn et al., 2023). Den viktigaste åtgärden för att minska spridningen av PFAS till miljön är att samtliga icke-essentiella PFAS förbjuds (Brunn et al., 2023; Goldenman et al., 2019; KEMI, 2023b).

Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) använder råvatten från Östra Mälaren för att producera dricksvatten till över 2 miljoner människor i Stockholmsregionen. För att säkerställa att Östra Mälaren kan användas som råvattentäkt även i framtiden arbetar Norrvatten och SVOA aktivt med uppströmsarbete för att långsiktigt minska föroreningsbelastningen på Mälaren och PFAS är en fråga som är högt prioriterad. Mälarens vatten har låga halter PFAS men detta är främst tack vare att Mälaren med dess volym kan späda ut stora mängder inflöden av föroreningar som tillförs från dess mycket stora avrinningsområde. Då ett av de nya gränsvärdena är mycket lågt påverkas dock även Mälaren av gränsvärdet då halter i östra Mälaren ligger precis på gränsen. Trots låga halter i vattnet har höga halter PFOS uppmätts i fisk i delar av Mälaren och i insjöar runt Stockholm varför Stockholms stad samt Järfälla kommun gått ut med en kostrekommendation gällande fisk från bland annat Görväln, en delbassäng i Mälaren från vilken Görvälnverket (Norrvatten) och Lovö vattenverk (SVOA) hämtar sitt vatten (Järfälla kommun, 2023; Stockholms stad, 2022).

2022 sammanställde Norrvatten en kartläggning över PFAS massflöden till Görväln (Ekman och Ejhed, 2022). Trots Mälarens betydelse som Sveriges största dricksvattentäkt har ingen liknande kartläggning av PFAS i Mälaren tidigare gjorts och projektet bidrog till värdefull kunskap om PFAS-flöden i Östra Mälaren och vilka källor som är mest betydande. Slutsatsen från projektet var att nordöstra delen av Mälaren (Skarven och Ekoln) var särskilt förorenad av PFAS jämfört med västra Mälaren, liksom att det saknades kunskap om ursprunget till nästan 50 % av den PFOS som lämnade Görvälnbassängen. Projektet ledde till att Norrvatten hösten 2022 initierade projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde*, ett samarbete mellan Norrvatten, SVOA, Stockholms stad, Järfälla och Ekerö kommun. Projektet delfinansieras av Länsstyrelsen och har som övergripande mål att undersöka potentiella PFAS-källor liksom utföra egna mätningar i Östra Mälarens olika delbassänger. Ett delmål med projektet var att de nytilkomna data skulle leda till ökad kunskap om var PFAS kommer ifrån och leda till en uppdatering, och utvidgning, av den tidigare massbalansen (Ekman och Ejhed, 2022) vilket är syftet med denna rapport.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att öka kunskapen om PFAS-flöden och källor i Östra Mälaren för att långsiktigt arbeta för att minska PFAS-belastningen på Mälaren och åtgärda PFAS vid utsläppskällorna.

Målet är att med ny data inkommen via projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* och aktörer i Östra Mälarens avrinningsområde, uppdatera tidigare PFAS-massbalans för Mälaren-Görväln (Ekman och Ejhed, 2022) och även utvidga området till att inkludera hela Östra Mälarens Vattenskyddsområde (VSO). Utvidgningen innebär att råvattentäkterna för samtliga tre vattenverk inom vattenskyddsområde inkluderas i massbalansen: Görväln och Lovö vattenverk i Görväln, samt Norsborg vattenverk i Rödstensfjärden.

1.2 Avgränsning

Uppdateringen av massbalansen kommer begränsas till Östra Mälarens VSO samt de data som insamlats inom projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO*, för övriga punkter kommer tidigare beräkningar och data som presenterats i Ekman och Ejhed (2022) användas.

Denna delrapport bygger vidare på tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) varför stora delar av beskrivning av metodik kommer refereras till den rapporten för att undvika onödig upprepning.

För detaljer kring undersökningen av källor i Ekerö kommun, Järfälla kommun och Stockholms stad hänvisas till NIRAS rapport som utförde denna undersökning (NIRAS Sweden AB, 2023).

2. Bakgrund

2.1 Slutsatser från tidigare massbalans

Då ingen liknande kartläggning över PFAS-massflöden i Mälaren har gjorts tidigare bidrog massbalansen utförd av Ekman och Ejhed (2022) med värdefulla insikter om betydande PFAS-källor till Östra Mälaren, men även Mälaren i stort. Nedan sammanfattas viktiga slutsatser från projektet vilka utgjorde grunden för arbetet inom *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* liksom uppdateringen av massbalansen:

- Största källan till PFAS till Görväln var närliggande bassänger varför betydande uppströms källor generellt sätt bedöms ha större inverkan på vattenkvaliteten än de källor som ligger inom landområden med direkt avrinning till Görväln.
- Diffusa källor inom landområden till VARO (Vattenförekomstavrinningsområdet) Görväln, så som nederbörd, mindre brandskumsplatser, enskilda avlopp och markanvändning, bidrog endast med 1 % av tillförd PFAS-mängd till Görväln.
- Stora inflöden så som Fyrisån och Märstaån i nordöstra delen av Mälaren, påverkar vattenkvaliteten som återfinns i Görväln, trots att de ligger långt uppströms. Till flödena i Fyrisån och Märstaån har exempelvis områdena Ärna och Arlanda konstaterats bidra.
- Avfallsanläggningen Högbytorp (ligger inom VARO Görväln) bedömdes bidra med en betydande mängd PFAS relativt andra källor i Görvälns närområden, siffrorna var dock mycket osäkra varför mer data behövs för att klargöra hur betydande avfallsanläggningen är.
- Osäkerheterna i beräkningarna är stora och de bedöms kunna förbättras främst för bassängerna genom att:
 - Koncentrationer mäts i in- och utlopp till bassänger för att spegla koncentrationer orsakade från hela avrinningsområden istället för att koncentrationer mäts i mitten av bassänger (vilket är det som typiskt görs i miljöövervakning).
 - Få mer vattenflödesdata. I Mälaren finns idag inga vattenflödesmätningar gjorda utan de flödesdata som finns är baserat på modellerade flöden, inte verkliga observationer.
- Stor andel (ca 50 %) av PFOS-flödena som lämnar Görväln kunde inte förklaras av någon av de källor som inkluderats i massbalansen. Detta innebär att det saknas kunskap om många punktkällor inom VARO Görväln alternativt att massflöden från närliggande bassänger eller övriga källor är kraftigt underskattade.
- Fler PFAS-mätningar i Östra Mälarens sund behövs för att tydligare spåra massflöden.

Utöver resultat från själva studien ledde projektet även till andra mervärden som inte förutsågs vid projektets start:

- De kartor med PFAS-massflöden i Östra och nordöstra Mälaren som producerades i projektet har blivit viktiga kommunikationsverktyg för att belysa hur PFAS transporteras i Mälaren och varför källor även långt från Görväln påverkar kvaliteten i Görvälnverkets och Lovö vattenverks råvatten.
- Projektet bidrog till öppen och konstruktiv dialog mellan dricksvattenproducenterna och verksamheter med platser som sprider PFAS till Östra Mälaren (exempelvis Ragn-sells, Swedavia, Försvarmakten och Fortifikationsverket).
- Det har framgått än mer tydligt att det saknas stor kunskap om vattenflöden i Mälaren då strömningsmätningar saknas för sunden i Mälaren. Strömningsmätningar är en viktig komponent för att kunna validera de modeller som finns för Mälaren och som senare kan användas för att uppskatta flöden i hela Mälaren. Då största inverkan på massflöden från bassänger och vattendrag är just vattenflödena är denna kunskap mycket viktig för att kunna utföra uppströmsarbete och källspåra föroreningar. Tillgängliga flödesdata från modeller bedöms dock ge underlag för relativa skattningar av belastningen som används i denna rapport.
- Det har efter arbetet med kartläggningen framgått att för att det slutligen ska komma till åtgärder vid punktkällor behöver de komma in i EBH-databasen och få en riskklassning. I och med att EBH databasen sattes upp innan PFAS var en känd miljö- och hälsorisk, och innan kunskapen fanns om vilka branscher som kan medföra spridning av föroreningar av PFAS, saknas information om PFAS på många objekt och många objekt som läcker PFAS finns inte heller inlagda i EBH databasen. Det krävs mer resurser för att kartlägga PFAS förorenade platser så att de kan registreras i EBH databasen och prioriteras för framtida åtgärder.

2.2 Om PFAS

Idag finns det mycket och väl sammanställd information om PFAS på olika plattformar. Nedan information är främst hämtad från Kemikalieinspektionens (KEMI) informationssida om PFAS (KEMI, 2023a) men bra sammanställningar går även att hitta i Svenskt Vattens rapport *PFAS – giftet på allas läppar* och *PFAS- hur kan svenska avloppsverk möta utmaningen?* (Baresel et al., 2022; Svenskt Vatten, 2022), eller mer uttömmande i KEMI:s kunskapssammanställning om PFAS (KEMI, 2021).

PFAS står för per- och polyfluorerade alkylsubstanser och är en grupp om minst 10 000 olika syntetiskt framställda ämnen. Ämnena började användas kring 1950-talet och har en mängd fördelaktiga egenskaper vilket gjort att de idag förekommer i en rad olika produkter, allt från kosmetika, hushållsprodukter och kläder till elektronik, smartphones och brandskum. Det finns idag inte en internationellt vedertagen definition på vad som ska klassas som en PFAS men Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (OECD) formulerade 2021 en definition som är den mest använda hittills och som även används av svenska KEMI: *PFAS är ett ämne som innehåller minst en fullt fluorerad metylgrupp (-CF₃) eller en fullt fluorerad metylengrupp (-CF₂-) utan någon väte-, klor-, brom-, eller jodatombäst vid den.*

PFAS består av en kolkedja och en funktionellgrupp. Kolkedjan är hydrofob vilket gör att längden på kolkedjan påverkar hur vattenlöslig/vattenavstötande en PFAS är. Desto kortare kedja desto mer vattenlöslig, motsvarande innebär en längre kolkedja att de tenderar till att bli mer bioackumulerande eller binda in till organiskt material i marken i högre grad. Den vattenlösliga egenskapen medför att PFAS kan vara mycket mobil i miljön och spridas långa sträckor, dels via ytvatten och i mark, och dels via atmosfären. PFAS kan vidare vara helt (per-) eller delvis fluorerade (poly-). Då bindningen mellan fluor (F) och kol (C) är extremt stark gör detta att PFAS är mycket svårnedbrytbara, exempelvis via naturliga nedbrytningsprocesser eller via upphettning. Trots att vissa PFAS går att delvis bryta ner innebär även en nedbrytbar PFAS (även kallade prekursorer) att den tillslut kommer brytas ner till en stabil/persistent PFAS.

Mängden olika sätt alla dessa parametrar (ex. lång eller kortkedjiga, per- eller polyfluorerade, typ av funktionell grupp etc.) kan kombineras och varieras på är anledningen till att det idag finns ett så stort antal olika PFAS och fortfarande produceras/upptäcks nya PFAS.

Hälsoeffekterna för majoriteten av PFAS är okända men det kan antas att alla PFAS i någon mån är hälsofarliga. Det är ett fåtal kända PFAS som har studerats med avseende på hälsoeffekter (exempelvis PFOS, PFOA, PFHxS och PFNA), och dessa har bland annat observerats vara reproduktionshämmande, immunotoxiska och misstänkt cancerframkallande. En utmaning är att några PFAS har observerats ha negativa hälsoeffekter redan vid mycket låga koncentrationer, detta medför ett behov av att utveckla analysmetoder som kan detektera många olika PFAS vid mycket låga detektionsgränser (pikogramnivåer) (Brunn et al., 2023).

2.3 Källor till PFAS

Kunskapen om PFAS har ökat markant de senaste åren, och därmed har det även uppdagats fler och fler produkter som innehåller PFAS. I studien Glüge et al. (2020) görs en sammanställning av användningsområden för PFAS (senaste liknande sammanställning gjordes 2001). Det identifieras nästan 300 olika funktioner som PFAS används till och totalt identifieras det 1400 olika PFAS i deras 64 olika användningsområden. Särskilt uppmärksammat är PFAS-utsläpp orsakat av brandskum, så kallat AFFF skum (aqueous film-forming foam) som räknas som en av de mest betydande spridningsvägar av PFAS till Svenska miljön (Hansson et al., 2016). Detta har särskilt uppmärksamats eftersom användningen av AFFF skum på brandövningsplatser, både i Sverige och resten av världen, lett till kraftig förorening av närliggande recipienter och vattentäkter samt mark. Exempel på detta i Sverige är Arlanda flygplats brandövningsplats (Norström et al., 2015), liksom brandövningsplatser på de Militära flygplatserna F18 i Tullinge (Filipovic et al., 2018) samt Uppsala Garnisons flygplats vid Ärna (Sörengård et al., 2022).

I Nordiska ministerrådets rapport *The cost of inaction; A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS* (Goldenman et al., 2019) sammanställer de huvudvägar som PFAS sprids till miljön där de tre mest betydande bedöms vara produktionen av PFAS (utsläpp till luft och närliggande vatten och mark), användning av PFAS för tillverkning av produkter (textilindustrin, tillverkning av pappersprodukter, färgtillverkning, plats, biltvättmedel m.m.) liksom användning av produkter som innehåller PFAS (framför allt brandskum, så kallat AFFF). Konsumentprodukter innehållande PFAS kan spridas till människor via exempelvis huden (kosmetika), inomhusluft (via impregnerade möbler och mattor exempelvis) eller via mat och vatten (pga. av förorenad jordbruksmark eller vatten eller från PFAS-innehållande förpackningar). Dessa spridningsvägar leder även indirekt till slut till spridning till avloppsreningsverk och slutligen miljön.

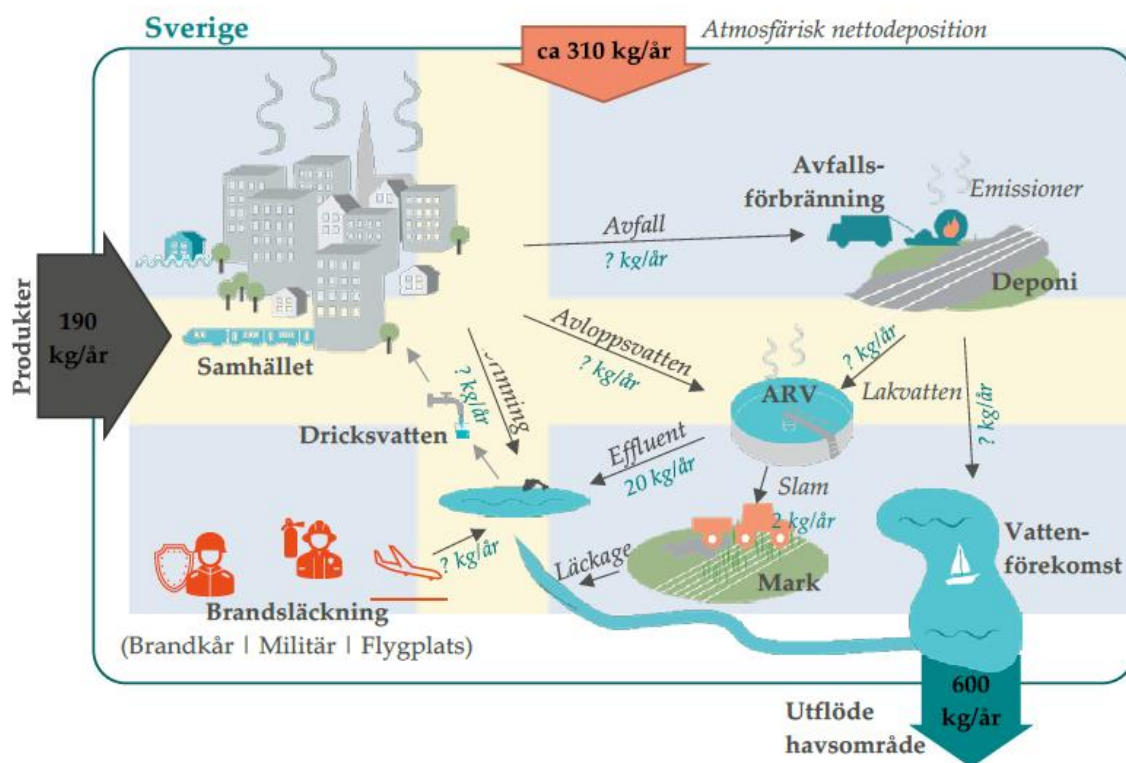
I sluthantering av produkter kan PFAS spridas till miljön även från förbränningsanläggningar, hur mycket är dock inte helt klarlagt då studier gällande vilka temperaturer som destruerar PFAS visar varierande resultat (Baresel et al., 2022). Utsläpp av PFAS till luft leder till att PFAS sprids i atmosfären och via nederbörd tillförs miljön även i regioner långt bort från närmsta punktkälla.

Både avloppsreningsverk och avfallsanläggningar är platser där samhällets utsläpp av PFAS samlas och koncentreras och de utgör därför idag tyvärr stora spridningspunkter. Det är idag en stor utmaning särskilt för avfallsanläggningar att rena PFAS från anläggningarna (i exempelvis lakvatten) då de är mottagare av de mest PFAS-förorenade massorna som samhället vill bli av med.

Människor kan alltså exponeras för PFAS på en mängd olika sätt men mat och dricksvatten anses vara två av de mest betydande exponeringsvägarna (Brunn et al., 2023). Nordiska ministerrådet beräknade i deras rapport att hälsorelaterade kostnader kopplade till mänsklig exponering av PFAS kostar EU årligen 52-84 miljarder kronor (Goldenman et al., 2019).

I Svenskt Vattens rapport *PFAS – hur kan svenska avloppsverk möta utmaningen?* (Baresel et al., 2022) har en mycket grundlig genomgång av olika PFAS-källor och deras betydelse gått igenom och nedan i Figur 1 visas en bild från den rapporten över PFOS-flöden i det Svenska samhället och miljön. Observera att belastningen från nederbörd är beräknad för all PFOS som tillförs från nederbörd över hela Sveriges yta. Ur dricksvattenproduktionsperspektiv är det intressant att flera

massflöden mellan källor och vattenförekomsten inte är kvantifierade och denna rapport är en sammanställning där en del av dessa flöden kvantifieras för Östra Mälarens vattenskyddsområde



Figur 1. Figur hämtad från Svenskt Vatten rapport 2022-7 (Baresel et al., 2022) med uppskattade massflöden av PFOS i Sverige.

2.4 PFAS och regelverk

Enskilda PFAS har i omgångar förbjudits både i Sverige, EU och globalt. Bland annat PFOS och PFOA, och ett hundratal ämnen som kan brytas ner till dessa ämnen, är reglerade i den globala Stockholm konventionen. På KEMI:s hemsida går det att läsa om de PFAS som hittills blivit reglerade (drygt 10 stycken och ibland med tillhörande närsalter och besläktade ämnen). En utmaning har dock varit att det i samma takt som en enskild PFAS förbjudits har tagits fram en ny PFAS som substitut. Det har därför diskuterats att det enda som verkligen skulle ha en långsiktig effekt vore ett gruppförbud. Ett sådant gruppförbud har också inkommit som förslag under våren 2023 till ECHA (European chemical agency), förslaget togs fram av bland annat svenska KEMI tillsammans med motsvarande myndigheter i Danmark, Nederländerna, Tyskland och Norge (ECHA, 2023; KEMI, 2023b). Förbudet skulle innebära att all tillverkning och försäljning av PFAS skulle förbjudas, eventuellt skulle undantag från förbudet göras för PFAS som bedöms vara essentiella och inte har något substitut i dagsläget. Om ECHA godtar förslaget kommer förbudet vara historiskt då det aldrig förut genomförts ett gruppförbud mot över 10 000 ämnen, KEMI:s uppskattning är att förbudet tidigast kan träda i kraft under 2025 (KEMI, 2023a).

2.4.1 PFAS i dricksvatten

I slutet av 2020 släppte EU ett nytt dricksvattendirektiv (Direktiv 2020/2184) som innehöll ett nytt gränsvärde för summan av 20 olika PFAS (100 ng/ för Σ_{20} PFAS). Samma år släppte även EFSA (European Food Safety Authority) ett hälsobaserat riktvärde, TWI (Tolerable weekly intake) för summan av fyra olika PFAS (4,4 ng/kg kroppsvikt och vecka för Σ_4 PFAS). Detta ledde till att Livsmedelsverket i deras nya dricksvattenföreskrifter LIVSFS 2022:12 valde att implementera både Dricksvattendirektivet och det hälsobaserade riktvärdet i deras nya dricksvattenföreskrifter: 100 ng/

för $\sum_{21}$ PFAS (de valde att lägga till en PFAS: 6:2 FTS) liksom 4 ng/l för $\sum_4$ PFAS. De nya gränsvärdena börjar gälla 1 januari 2026 och gäller fram till dess som riktvärden och ersätter den tidigare åtgärdsgränsen på 90 ng/l $\sum_{11}$ PFAS (se ordlistan för information om vilka PFAS de olika summorna inkluderar).

Danmark har satt ett gränsvärde på 2 ng/l $\sum_4$ PFAS (Miljøministeriet, 2023) och i USA inkom US EPA (US Environmental Protection Agency) under våren 2023 med förslag på nya gränsvärden för PFOS och PFOA på 4 ng/l vardera (US EPA, 2023a). Fram till dess att de nya gränsvärdena blir godkända gäller mellantidsgränsvärden (eng. interim) på 4 pg/l och 20 pg/l för PFOA respektive PFOS. USA har även introducerat ett Faroindex som gränsvärde för summan av PFNA, PFHxS, PFBS samt HFPP-DA (även känd som GenX). Samtliga gränsvärden finns sammanställda i Tabell 1. I Tabell 2 visas parametervärden för beräkning av EPA:s Faroindex.

Tabell 1. Sammanställning av nuvarande och kommande gränsvärden för olika PFAS i olika länder.

Land	Gäller fr.o.m.	PFAS	Gränsvärde	Fram till dess:
Sverige	1 jan 2026	$\sum_4$ PFAS	4 ng/l	Gränsvärdet ska ses som ett riktvärde fram till 1 jan 2026 och ersätter tidigare åtgärdsgräns
Danmark	Juni 2021	$\sum_4$ PFAS	2 ng/l	-
USA	prel. slutet av 2023	PFOA	4 ng/l	4 pg/l* (gäller sedan juni 2022)
		PFOS	4 ng/l	20 pg/l* (gäller sedan juni 2022)
		PFNA		-
		PFHxS		-
		PFBS	1.0 (enhetslös) Faroindex (eng. Hazard Index)**	2000 ng/l* (gäller sedan juni 2022)
		HFPP-DA (GenX)		10 ng/l* (gäller sedan juni 2022)

*EPA:s mellantidsgränsvärden (eng. interim) gränsvärden som ska gälla fram till dess att de nya föreslagna gränsvärden, blir implementerade (US EPA, 2022, 2023a)

Tabell 2. Faroindexet (HI, Health Index) är föreslaget av EPA ska användas som gränsvärde för summan av halter av fyra PFAS (US EPA, 2023b, 2023c).

PFAS	Health based value
PFNA	10 ng/l
PFHxS	9 ng/l
PFBS	2000 ng/l
HFPP-DA (GenX)	10 ng/l

Equation

$$\text{Hazard Index} = \left(\frac{[\text{GenX}_{\text{water}}]}{[10 \text{ ppt}]} \right) + \left(\frac{[\text{PFBS}_{\text{water}}]}{[2000 \text{ ppt}]} \right) + \left(\frac{[\text{PFNA}_{\text{water}}]}{[10 \text{ ppt}]} \right) + \left(\frac{[\text{PFHxS}_{\text{water}}]}{[9.0 \text{ ppt}]} \right)$$

I EPA:s föreslagna gränsvärden inkomna 2023 kommenterar de att gränsvärdena är satta efter vad som bedöms är halter som är pålitligt mätbara (eng. "at a level they can be reliably measured", (US EPA, 2023d, 2023a)). Detta kan vara förklaring till att de höjdes i jämförelse med de gränsvärden som skulle gälla i mellantiden, som låg på pikogram-nivå, vilket med dagens analysmetoder inte går att mäta. Det kan alltså konstateras att Sverige, Danmark och USA tagit samma riktning vad gäller gränsvärden för PFAS.

I Brunn et al. (2023) tas det även upp att det i Tyskland inkommit ett förslag på ett gränsvärde på 20 ng/l för $\sum_4$ PFAS, det är dock oklart när ett sådant eventuellt gränsvärde skulle kunna börja gälla.

2.5 PFAS i världen, Sverige och Mälaren

I augusti 2022 publicerade forskare på Stockholms Universitet en artikel som lyfter frågan om att en (hypotetisk) planetär gräns för PFAS har överskridits. Artikeln medförde stor uppmärksamhet runt om i världen eftersom att den belyste att gränsvärden i dricksvatten som börjat införas i bland annat Danmark, Sverige och USA nu är så pass låga att det i vissa fall är lägre än halten PFAS som observerats förekomma i nederbörd (Cousins et al., 2022).

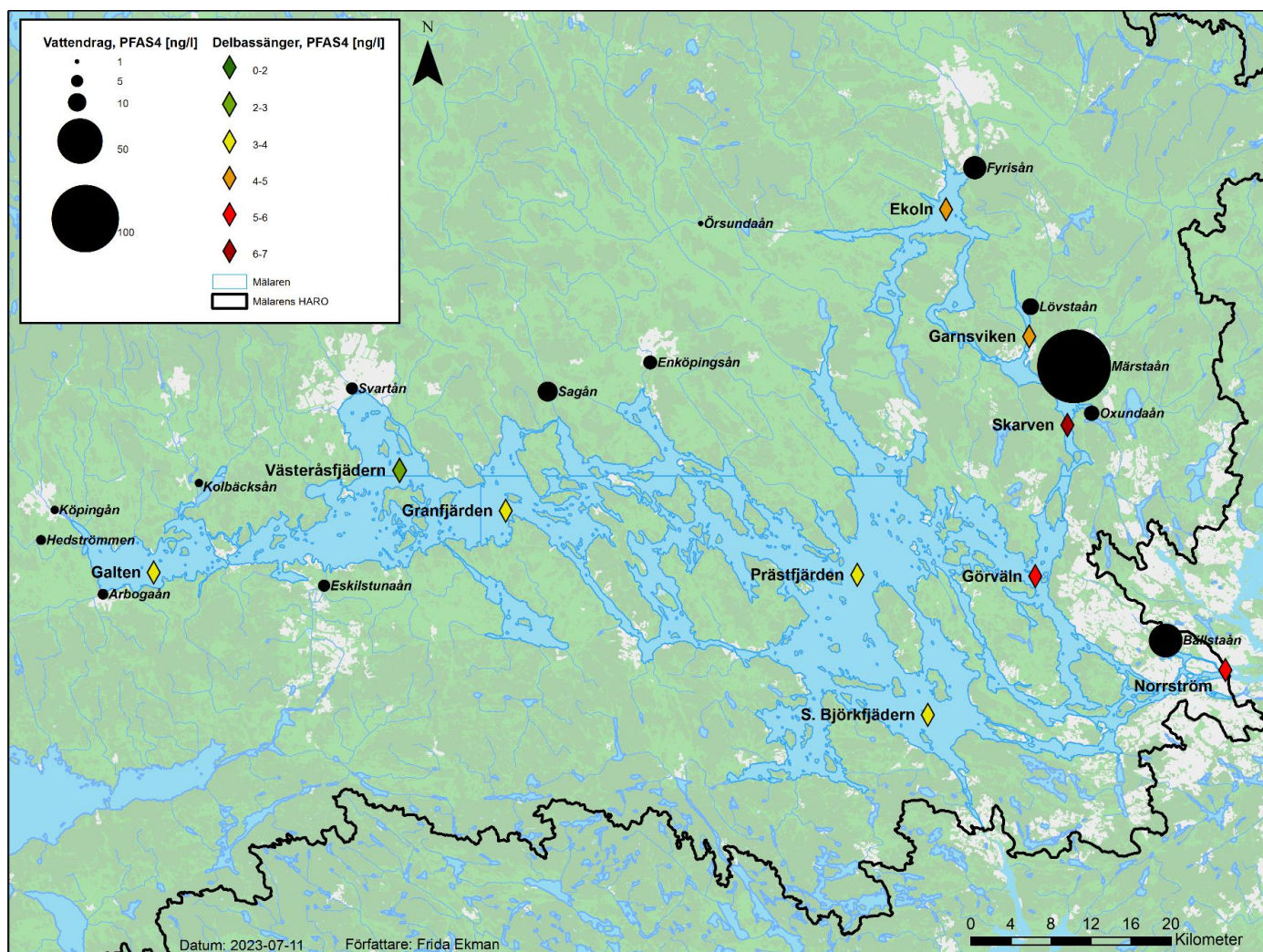
Artikeln sätter PFAS-problematiken i ett större, och globalt, perspektiv. I och med att PFAS kan färdas och spridas långa sträckor är problemet just globalt, och i och med att PFAS är persistenta kommer den mängd vi släppt ut, och släpper ut, också långsamt spridas och spädas ut över hela världen och stanna kvar i miljön under mycket, mycket lång tid. Flertalet studier utförda senaste åren fastslår behovet av att användningen av PFAS måste stoppas, då halter i miljön annars kommer att fortsätta öka (Brunn et al., 2023; Cousins et al., 2022; Goldenman et al., 2019; KEMI, 2023b).

I sammanställningen av Brunn et al. (2023) sammanfattas observerade trender av PFAS i flertalet studier till att PFOS och PFOA har minskat i miljön och mänskligt blod de senaste 10-20 åren, medan många andra PFAS som substituerat dessa två efter att de förbjudits, har setts öka. Även PFHxS har de senaste åren observerats minska (Land et al., 2018). Indikationer på motsatt trend för PFOS och PFOA observerades dock i Kina där produktionen av PFAS har ökat senaste åren (Land et al., 2018). Det ska dock påpekas att det alltså endast är ett fåtal PFAS som hittills har reglerats (och därmed observerats minska i halt i miljön), och där dessutom kunskap om toxicitet finns, varför trender och kunskap om hälsofara och trender hos den stora mängden PFAS ännu är okända.

2.5.1 Sverige och Mälaren

Mälaren är idag en tungt belastad sjö med mycket sjötrafik och tätorter längs dess stränder. Dess stora avrinningsområde (5 % av Sveriges yta) medför att den tar emot stora mängder föroreningar från ett stort område. Dock är Mälarens storlek just det som också är en skyddande barriär, dess stora volym vatten medför också att stora mängder föroreningar kan spädas till låga nivåer. Detta gör att vi idag ser föroreningsnivåer av PFAS som bedöms vara i storlek med bakgrundshalter i miljön (medelhalten PFOS i Svenska floder är ca 3,5 ng/l (Nguyen et al., 2017) vilket kan jämföras med halter i Mälaren på ca 1-2 ng/l). Det finns inget kontinuerligt miljöövervakningsprogram för PFAS i Mälaren, det har dock på senare år gjorts enskilda provtagningsprogram inom olika projekt. 2020 utfördes ett projekt på uppdrag av Mälarens Vattenvårdsförbund där bland annat PFAS analyserades i ett antal olika delbassänger med tillrinnande vattendrag (Malnes et al., 2021). SVOA och Norrvatten sammanställde de data för att kartlägga PFAS i Mälaren, se Figur 2. Det framkommer från kartläggningen att halterna av PFAS är lägre i västra delen i Mälaren (under kommande gränsvärde för $\sum_4$ PFAS på 4 ng/l) än de östra och nordöstra delarna (strax över eller vid kommande gränsvärde för $\sum_4$ PFAS på 4 ng/l). Halten för $\sum_{21}$ PFAS ligger i Östra Mälaren kring 10 ng/l eller under, vilket är 10 ggr lägre än det nya gränsvärdet för denna parameter i Livsmedelverket nya dricksvattenföreskrifter (100 ng/l $\sum_{21}$ PFAS fr.o.m. 1 januari 2026).

Det är dock viktigt att inte förminska problemet med den mycket stora mängd PFAS som passerar Mälaren årligen. I Ekman och Ejhed (2022) beräknas Mälarens utflöde av PFAS till 43 kg/år av Σ_9 PFAS och 24 kg/år av Σ_4 PFAS.



Figur 2. Koncentration (ng/l) av Σ_4 PFAS i Mälaren baserad på data från Malnes m. fl. (2021) samt data sammanställd i Ekman och Ejhed (2022). Orange och röd färg markerar att gränsvärdet på 4 ng/l överstigs, vattendragens koncentration speglas av storleken på cirkeln.

Livsmedelsverket utförde under 2020 en kartläggning över PFAS i Sveriges kommunala rå- och dricksvatten (Livsmedelsverket et al., 2021). Det framkom då att 15 vattenverk som totalt försörjer 2,2 miljoner människor hade halter över 10 ng/l för summan 7-11 PFAS, för samtliga av dessa (förutom ett verk) innebar detta även att det kommande gränsvärdet för Σ_4 PFAS på 4 ng/l vid något tillfälle hade överstigits.

3. Metod

Likt tidigare massbalans undersöks för denna uppdaterade och utvidgade massbalans PFAS-belastningen från ytvatten (vattendrag och närliggande Mälar-bassänger), nederbörd, markanvändning, brandskum, enskilda avlopp och avfallsanläggningar. Denna gång beräknas det i den mån det går belastningen från $\sum_{21}\text{PFAS}$, $\sum_4\text{PFAS}$ och PFOS.

Uppdateringen består i att det inom projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* provtagits PFAS i in- och utlopp i Östra Mälaren vilket innebär att det nu finns aktuell data i fler bassänger än tidigare, denna gång även på platser bäst lämpade för beräkning av massflöden (in- och utlopp). Det har även provtagits i ett tillrinnande vattendrag (Brobäcken) samt i utloppet från en sjö (Albysjön). Stockholms stads miljöförvaltning har även bidragit med data för Råcksta träsk och Fiskarfjärden. Inom projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* har det även undersökts belastningen av ett antal PFAS hot-spots till Östra Mälarens VSO (NIRAS Sweden AB, 2023) vilka även inkluderas i uppdateringen. Ett exjobb utfördes även inom detta projekt vilket undersökte belastningen från ett antal deponier (Hård af Segerstad, 2023), vilka även de ingår i uppdateringen.

Utvidgningen består i att en massbalans nu beräknas för tre områden (se Figur 3):

- **Hela Östra Mälarens Vattenskyddsområde (Östra Mälarens VSO)**
Inkluderar delbassängerna Görvåln, Rödstensfjärden, Långtarmen och Fiskarfjärden och innefattar därför samtliga Norrvattens och SVOA:s vattentäkter: Görvåln i vilken Görvåln och Lovö vattenverk ligger, liksom Rödstensfjärden i vilken Norsborg vattenverk ligger. För den utvidgade massbalansen används samma datakällor och metodik som för tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) förutom i de fall ny data inkommit från projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde*.
- **Görvåln**
Är en del av Östra Mälarens VSO (vissa avvikelser i gränserna finns). Omfattar Görvålns vattenförekomstområde (VARO Görvåln) samt inflöden och utflöden till och från Görvåln. Omfattar samma område och kan jämföras med den tidigare massbalansrapporten (Ekman och Ejhed, 2022) och baserar på delvis nya data från projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* som redovisas i den här rapporten. Inkluderar Norrvattens och SVOAs vattentäkter vid Görvålnverket och Lovö vattenverk.
- **Rödstensfjärden**
Är en del av Östra Mälarens VSO (vissa avvikelser i gränserna finns). Omfattar Rödstensfjärdens vattenförekomstområde (VARO Rödstensfjärden) samt inflöden och utflöde till Rödstensfjärden. Inkluderar SVOAs vattentäkt vid Norsborg vattenverk.

För att undvika onödig upprepning refereras läsaren till tidigare rapport och massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) gällande tidigare data och metodik då endast nytillkommen data tas upp i detalj nedan.

$\sum_9\text{PFAS}$ är alltid de nio PFAS av $\sum_{21}\text{PFAS}$ som detekteras i Östra Mälaren: PFBS, PFHxS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBA, PFPeA, PFOS. Om detta inte gäller har det markerats med en asterisk ($\sum_9^*\text{PFAS}$) och refererar då till summan som användes i tidigare massbalan baserat på tillgänglig data vid tidpunkten av sammanställningen för den rapporten.



Figur 3. Karta över vattenflödets riktning i Östra Mälaren. Storleken på pilarna visar den ungefärliga storleken på flödena i relation till varandra.

3.1 Data för beräkning av PFAS-massflöden

3.1.1 Vattendrag, sjöar och bassänger

Kartan i Figur 4 visar de nytillkomna provpunkterna i delbassänger, vattendrag och sjöar, sedan senaste massbalansen. Utöver de punkter som det beräknades ett massflöde för i tidigare rapporten (Ekman och Ejhed, 2022) visas även två provpunkter som tillkommit från Stockholms Stads miljöförvaltnings övervakningsprogram. Observera att det inte gjordes någon egen provtagning i den tidigare massbalansen, de data baseras på andra projekt vilka finns beskrivna i Ekman, Ejhed (2022). Sammanställning av samtliga provpunkter, med källhänvisning, finns presenterade i Tabell 15 under Appendix 8.1.1.



Figur 4. Provtagningsplatser för PFAS i nordöstra och östra delen av Mälaren. Trianglar markerar provplatser som använts i tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) och som kommer från andra projekt. Cirkclar markerar tillkomna provpunkter sedan senaste massbalansen.

För beräkning av massflöden har mediankoncentrationer och årsmedelvattenflöden använts i enlighet med Tabell 3 för nyttillkommen data insamlad i projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde, och i Tabell 4 för data som använts i tidigare massbalans, Ekman och Ejhed

(2022). Observera att belastningen från Fyrisån också har uppdaterats då en annan beräkningsmetodik används, detta står beskrivet i 8.2.3 under Appendix. För mer utförlig information om data använt i tidigare massbalansen hänvisas det till Ekman och Ejhed (2022) där även rådata går att hitta. Källhänvisning till data, koordinater, rådata för PFAS koncentrationer (för nytilkommen data) liksom vattenflöden finns presenterad i sin helhet i Appendix 8.1.

För Fiskarfjärden och Räcksta träsk erhöles data från Stockholms stads miljöförvaltning. Där analyserades $\sum_{29}$ PFAS istället för $\sum_{21}$ PFAS, trots att det inte är ett fullständigt överlapp mellan dessa två analyser så innehåller båda analyspaketen de PFAS som detekteras i Mälaren ($\sum_9$ PFAS) varför skillnaden i resultat mellan de två parametrarna är marginell.

I tidigare massbalans (Tabell 4) användes data från andra projekt som då hade analyserat summan av 9 olika PFAS (benämnd $\sum_9$ PFAS = PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS, $\sum_{11}$ PFAS enligt tidigare åtgärdsgräns för dricksvatten utan PFBA och 6:2 FTS). Förutom att PFBA saknas innehåller denna summa samtliga PFAS som vanligtvis detekteras i Mälarens bassänger (av $\sum_{21}$ PFAS), varför summorna bedöms vara jämförbara. Där skillnaden kan vara större än marginell mellan $\sum_9$ PFAS och $\sum_{21}$ PFAS är när vattendrag jämförs, vilka kan vara förorenad av fler PFAS över detektionsgräns än vad fallet är i Mälarbassänger.

Samtliga koncentrationer visualiseras i en geografisk kontext i Figur 7, Figur 8 och Figur 9 för $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS och PFOS respektive.

Tabell 3. Median och medelkoncentrationer för provpunkter som tillkommit under 2022/2023, insamlade av Norrvatten och SVOA inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO. Data för Fiskarfjärden och Räcksta träsk kommer från Stockholm Miljöförvaltning. *dubletter vid 10 av tillfällena. ** $\sum_{29}$ PFAS.

Plats	Mätperiod	n	mätfrekvens	$\sum_{21}$ PFAS [ng/l]		$\sum_4$ PFAS [ng/l]		PFOS [ng/l]		Q [m³/s]
				Median	Medel	Median	Medel	Median	Medel	
Skarven	aug 22 - maj 23	4	ca 3:e månad	13,5	13,6	6,4	6,5	3,2	3,1	22 ¹
N. Björkfjärden	aug 22 - maj 23	4	ca 3:e månad	7,8	7,7	3,0	3,0	1,4	1,3	55 ¹
N. Björkfjärden										18 ¹
Långtarmen	sep 22 - juni 23	4	ca 3:e månad	9,8	9,6	4,2	4,3	1,9	1,9	16 ¹
Görväln	sep 22 - juni 23	4	ca 3:e månad	10,4	10,4	4,3	4,4	1,9	1,8	93 ¹
Brobäcken	aug 22 - maj 23	4	ca 3:e månad	462,4	607,8	130,8	158,9	27,0	30,4	0,093 ²
S. Björkfjärden	sep 22 - juni 23	4	ca 3:e månad	8,3	8,2	3,1	3,1	1,3	1,3	54 ¹
Rödstensfjärden	sep 22 - juni 23	4	ca 3:e månad	9,7	9,4	3,7	3,8	1,6	1,6	55 ¹
Albysjön	nov 22 - sep 23	4	ca 3:e månad	29,3	29,3	15,2	15,3	5,3	5,2	0,74 ³
Fiskarfjärden	apr 22 - mars 23	13	varje månad	10,9	10,8	4,8	4,7	2,2	2,4	150 ¹
Räcksta träsk	apr 22 - mars 24	22*	varje månad	51,0	110,3	7,8	7,8	3,3	3,4	0,0046 ⁴

¹ Årsmedelflöde perioden 1990-2008, (Sahlberg och Gustavsson, 2010)

² Medelflöde, 4 mätningar, 2022/2023, se appendix 8.1.2.3

³ Årsmedelflöde perioden 2010-2022, (SMHI, 2023a)

⁴ Medelflöde, 6 mätningar, 2022/2023, se appendix **Fel! Hittar inte referenskölla.**

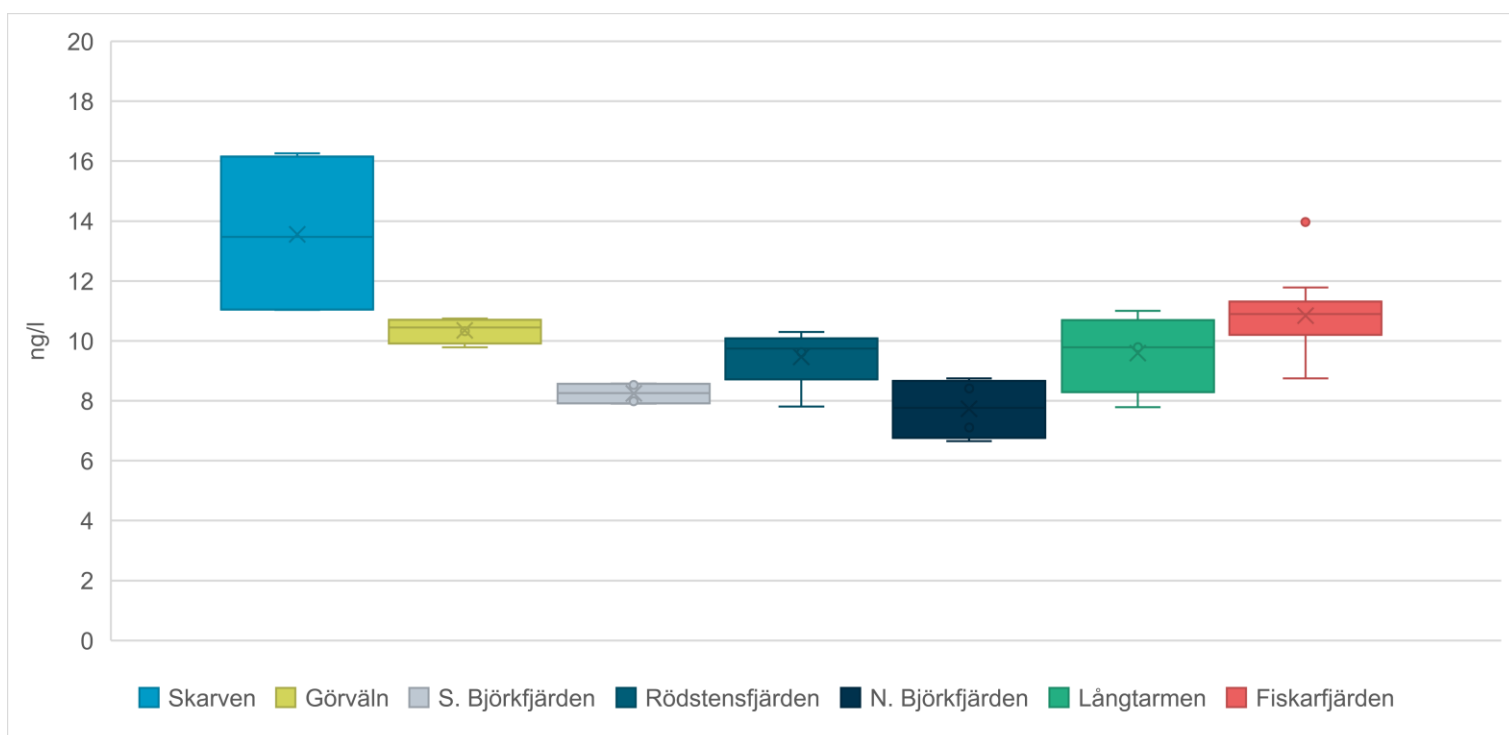
Tabell 4. Median och medelkoncentrationer för provpunkter som användes i tidigare massbalansen. Koordinater för provpunkter liksom källhänvisning till ursprungsdatat använt i Ekman och Ejhed (2022) finns presenterade i Appendix Tabell 15, information gällande vattenflöden finns presenterade i Appendix Tabell 19. *Beräkningen av massflöde för Fyrisån har uppdaterats och baseras i denna rapport på data från Malnes et al. (2021) och Nygren et al. (2021), se Appendix 8.2.3.

Plats	Mätperiod	n	Σ_9 *PFAS [ng/l]		Σ_4 PFAS [ng/l]		PFOS [ng/l]		Q [m³/s]
			Median	Medel	Median	Medel	Median	Medel	
Fyrisån*	okt 19 - sep 20	6	53	44	41	33	16	12	13,9 ¹
Örsundaån	okt 19 - apr 20	2	5,4		1,1		0		4,37 ¹
Lövstaån	okt 19 - apr 20	2	32		9,0		1,8		0,65 ¹
Märstaån	2019	4	164	158	117	113	56	60	0,45 ¹
Oxundaån	2019	4	20	20	7,2	7,5	2,6	2,5	1,49 ¹
Bällstaån		30-110	62	68	30	33	17	20	0,31 ¹
Ekoln	okt 19 - apr 20	6	8,8	8,5	4,5	4,9	1,7	2,1	19,2 ²
Garnsviken	2019	2	12		4,7		2,1		0,6 ²
Norrström	2016-2020	6	9,0	8,8	5,0	5,1	2,4	2,3	150,1 ²

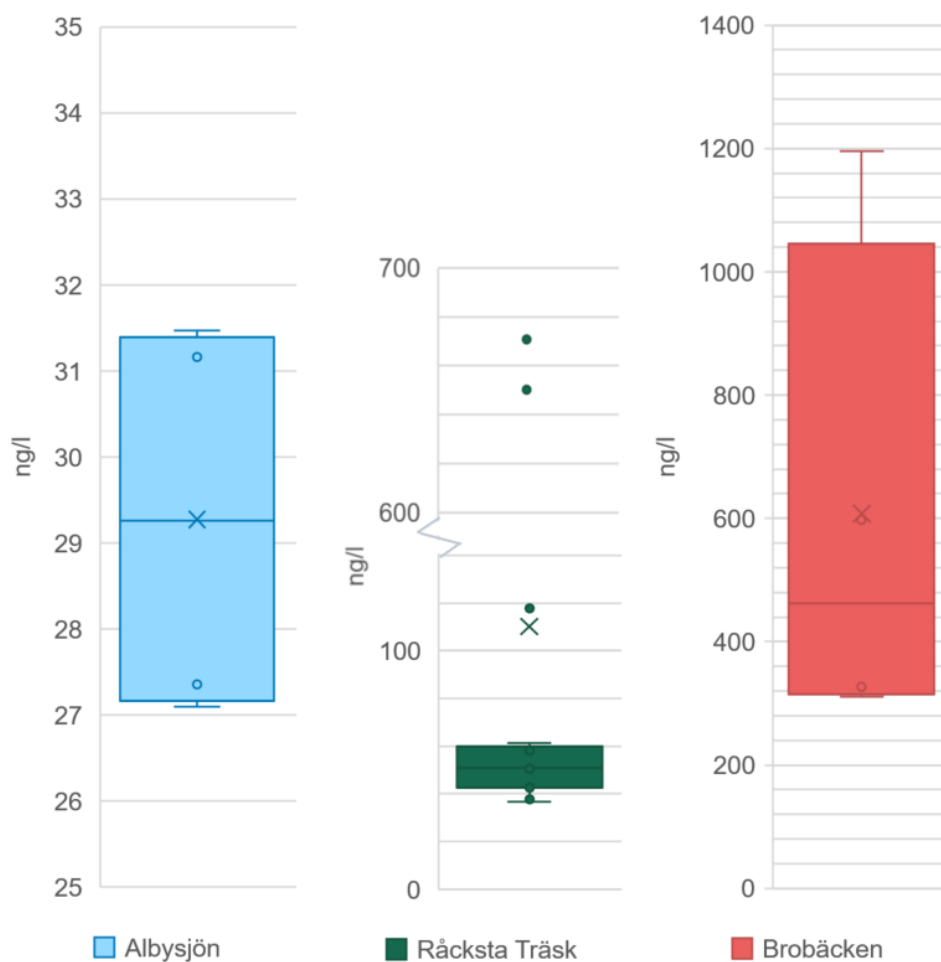
¹ Årsmedelflöde perioden 2004-2019, (SMHI, 2021)

² Årsmedelflöde perioden 1990-2008, (Sahlberg och Gustavsson, 2010)

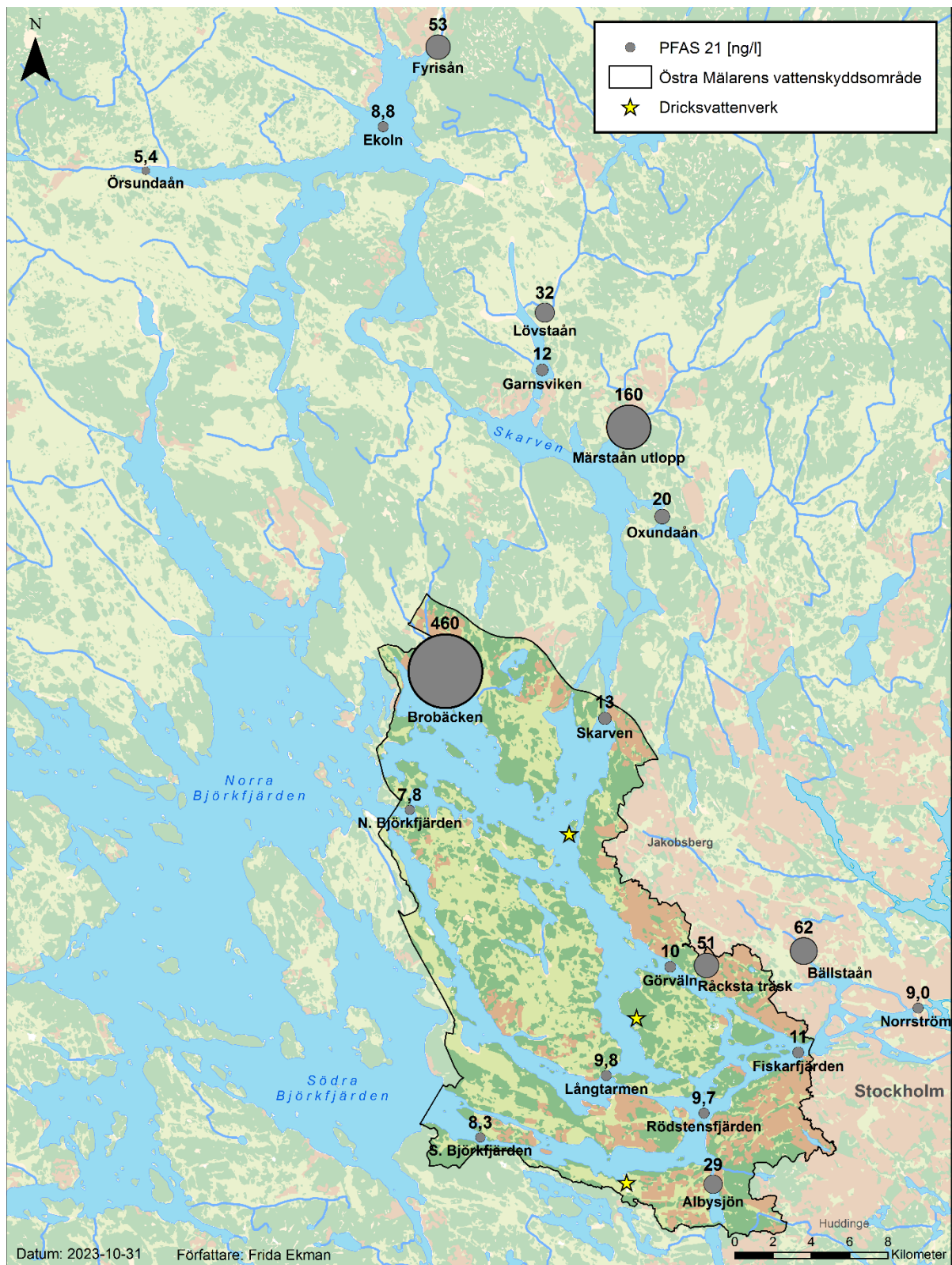
Spridning i ny tillkommen data visas nedan i Figur 5 och Figur 6. Det kan kommenteras att de två extremvärdena för Råcksta träsk är dubbelprov för ett och samma tillfälle (2023-01-25) – denna ökning beror inte av generell ökning av samtliga PFAS utan enbart av en mycket kraftig ökning av PFPeA, PFHxA, PFBA, PFHpA.



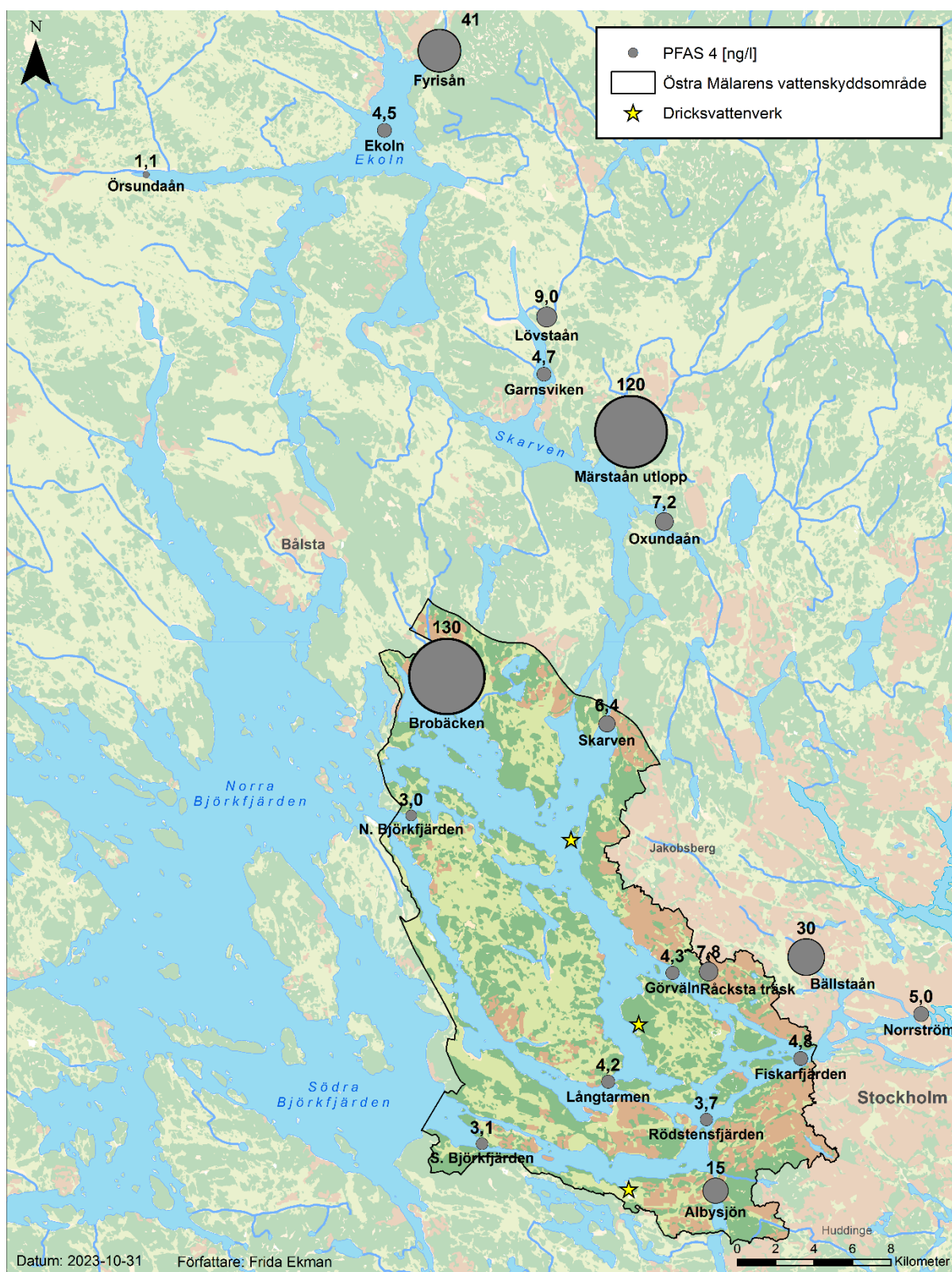
Figur 5. Spridning i data för Σ_{21} PFAS från 2022/2023. $n=4$ för samtliga förutom för Fiskarfjärden då $n=13$. Prickar markerar outliers, strecken i lådorna markerar medelvärde och kryss medianvärde, strecken utanför lådorna markerar min- och maxvärden.



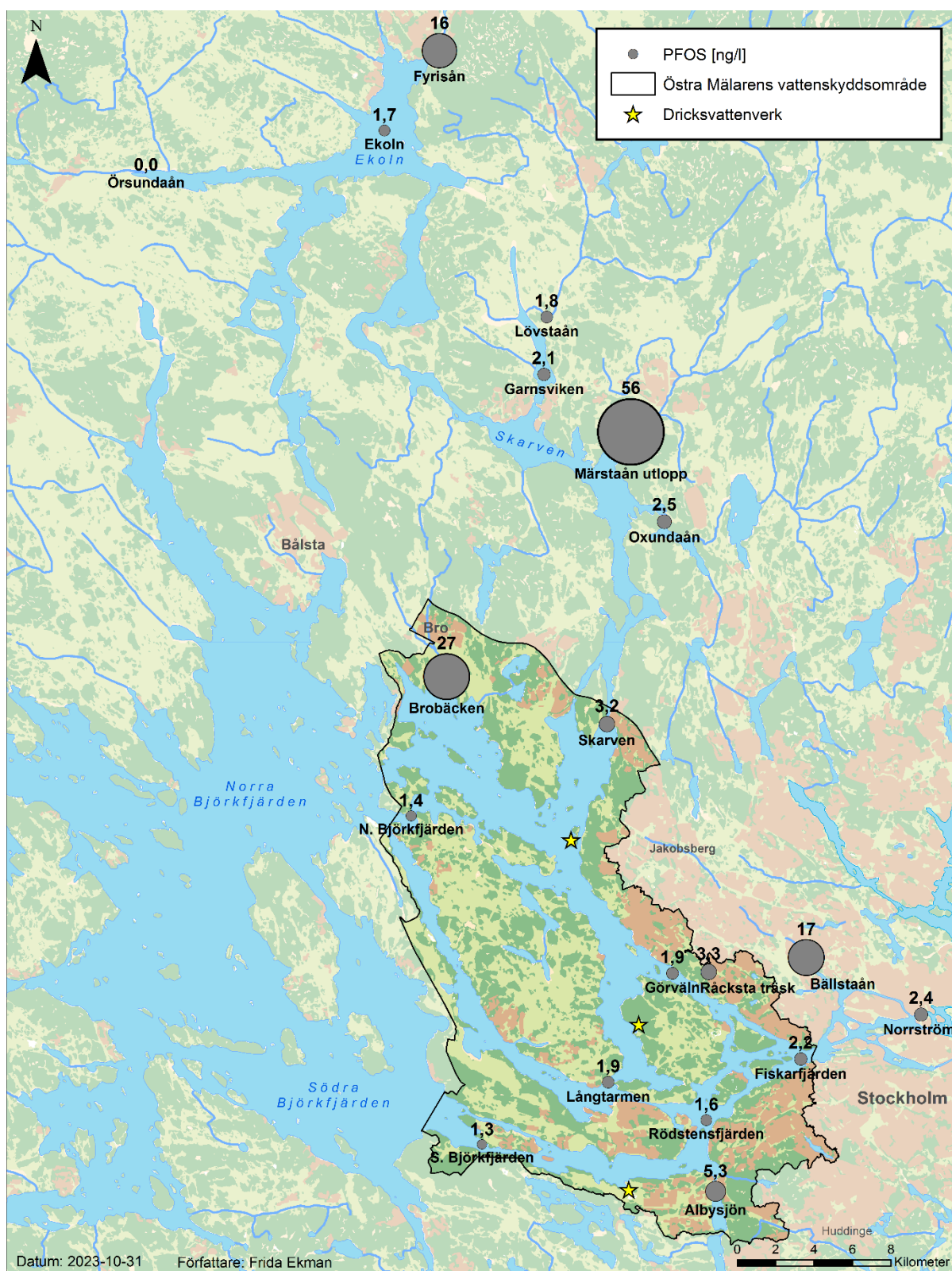
Figur 6. Spridning i data för Σ_{21} PFAS från 2022/2023 för Albysjön ($n=4$), Råcksta träsk ($n=22$, varav 10 är dubletter) och Brobäcken ($n=4$). Prickar markerar outliers, strecken i lådorna markerar medelvärde och kryss medianvärde, strecken utanför lådorna markerar min- och maxvärden.



Figur 7. Koncentration av Σ_{21} PFAS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.



Figur 8. Koncentration av Σ_4 PFAS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.



Figur 9. Koncentration av PFOS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.

3.1.1.1 Beräkning av massflöde från västra, nordöstra och östra Mälaren

I och med att provpunkterna som provtogs inom Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO, var placerade vid samtliga inflöden till Östra Mälaren kan data även användas för att beräkna den samlade belastningen från Västra Mälaren liksom nordöstra och Östra delen av Mälaren (se Figur 12). Genom att jämföra PFAS-massflödet från ett område med hur stor andel av den totala

tillrinningen till Mälaren som området står för, ges dessutom information om hur förorenade områdena är i jämförelse med varandra. Nedan visas vilka massflöden (från vilka bassänger) som representerar belastningen från de olika delarna av Mälaren vilket även illustreras i kartan i Figur 3. Samma beräkning görs för att beräkna vattenflödet från de olika delarna. Observera att Östra Mälarens bidrag av vattenflöde och PFAS till Mälaren alltså enbart innefattas av det som tillförs inom själva området, inte det som tillförs området från västra respektive nordöstra Mälaren.

Tabell 5. Hur PFAS-belastningen från olika delar av Mälaren beräknas liksom hur stor del av Mälarens totala utflöde av vatten de olika delarna bidrar med.

Del av Mälaren	Förkortning	Representeras av:	Vattenflöde m ³ /år (Tabell 3)	Andel av Mälarens totala utflöde
Mälaren totala utflöde	Mälaren _{UT}	Utflöde från: Fiskarfjärden	150	100 %
Västra Mälaren	V _{Mälaren}	Utflöde från: N. Björkfjärden _{Görväln} N. Björkfjärden _{Långtarmen} S. Björkfjärden	127	85 %
Nordöstra Mälaren	NÖ _{Mälaren}	Utflöde från: Skarven	22	15 %
Östra Mälaren	Ö _{Mälaren}	Ö _{Mälaren} = Mälaren _{UT} - V _{Mälaren} - NÖ _{Mälaren}	1,0	1 %

Från Mälarens Vattenvårdsförbund framgår att vattendragen Arbogaån, Hedströmmen, Köpingsån, Kolbäcksån, Eskilstunaån, Svartån och Sagån (Västra Mälaren) står för ca 70 % av tillrinningen till Mälaren, medan Fyrisån och Örsundaån (nordöstra delen av Mälaren) står för ca 11 % av tillrinningen (Mälarens Vattenvårdsförbund, 2023). Resterande tillrinning på 19 % kommer från små bäckar och diken. Räknat på årsmedelvattenflödet (Från SMHI vattenwebb, se Tabell 3) som tillförs från de olika delarna enligt Tabell 5 framgår att dess siffror stämmer bra överens med siffrorna från Mälarens Vattenvårdsförbund.

3.1.2 Nederbörd

Data som användes för att beräkna massflödet från nederbörd över vattenytan inom Östra Mälarens VSO visas i Tabell 6. Vattenytans area inom Östra Mälarens VSO och Rödstensfjärden beräknas med hjälp av ArcMap till 127 488 348 m² respektive 12 698 841 m². Observera att halterna PFAS i nederbörd är betydligt lägre i mätpunkten utanför Uppsala än halter uppmätta exempelvis vid Vättern (Björnsdotter, 2021), det är oklart vad skillnaderna beror på men det indikerar att koncentrationen i nederbörd kan variera beroende på lokala förhållanden.

Tabell 6. Nederbördsdata för Östra Mälarens VSO

Data	Värde			Källa	Kommentar
Årsmedelnederbörd [mm]	465			(Ekman och Ejhed, 2022; SMHI, 2023b)	Mätstation Adelsö (medel över 20 år fram till 2020)
PFAS koncentrationer [ng/l]	Medel	Min	Max	(SMHI, 2023c)	
Σ_{14} PFAS	2,2	1,1	4,6		Från Stationen Norunda Stenen (Uppsala län), data från perioden dec 2017 till nov 2021, n = 47 (se Tabell 27 i Appendix)
Σ_9 PFAS	1,8	0,8	3,4		
Σ_4 PFAS	0,5	0,1	1,4		
PFOS	0,1	0,0	0,5		

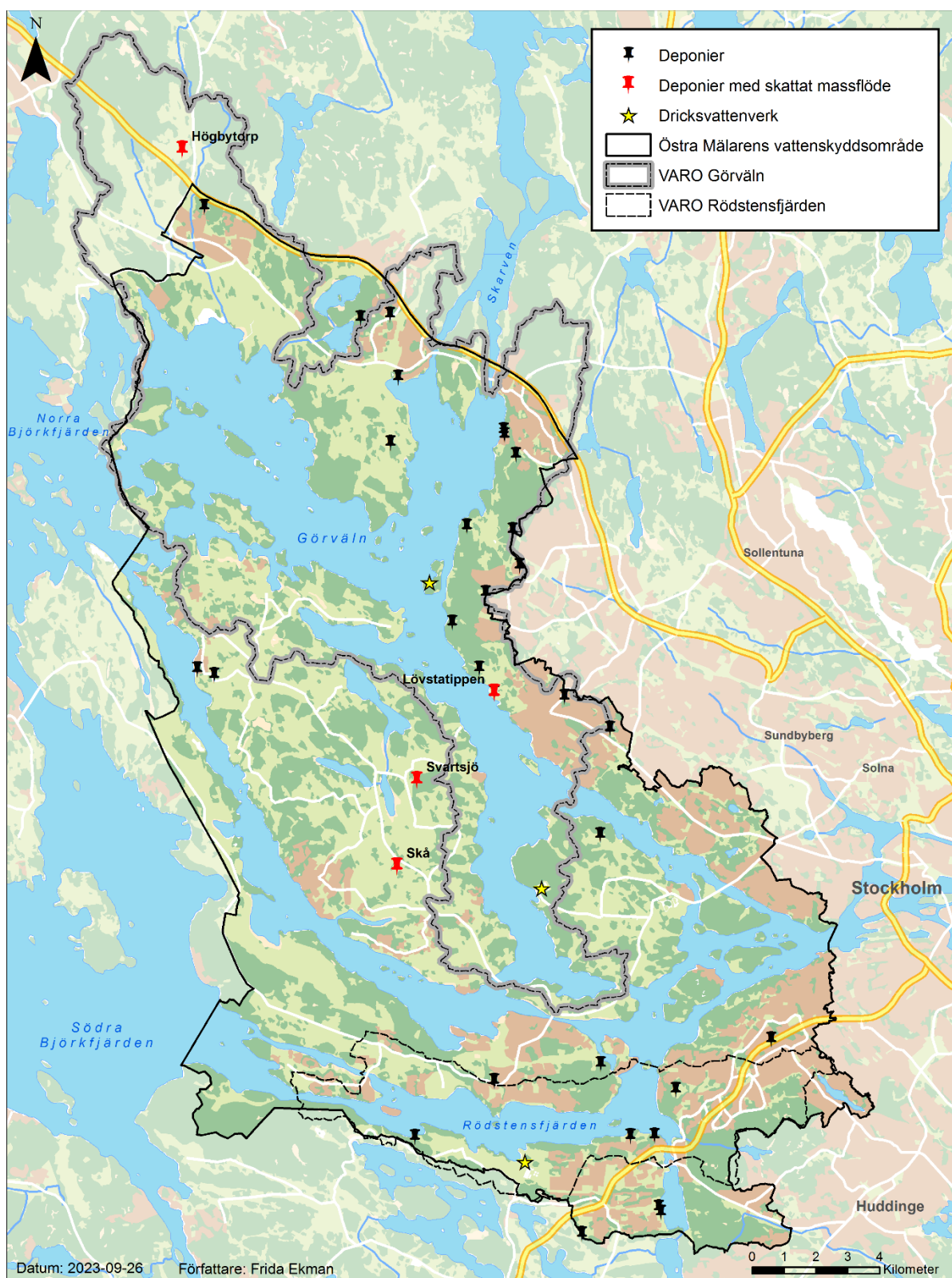
Rådata för PFAS-koncentrationer i nederbörd är hämtad från SMHI och finns i Appendix, Tabell 27. Observera att då SMHI:s detektionsgränser varierat under året och då det inte framkommer om halter är under eller vid detektionsgränsen i datafilen erhållen från SMHI, har eventuella värden som ligger under LOQ (men alltså saknat en markering med "<") räknats som LOQ.

3.1.3 Deponier

Inom ett exjobb som utfördes i samarbete med projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* utfördes en inventering av deponier inom Östra Mälarens VSO (Hård af Segerstad, 2023). Vid tre utvalda deponier utfördes provtagningar (eller erhöles provresultat för) och en uppskattning av belastningen från platserna till Östra Mälarens VSO beräknades. I Figur 10 visas en karta på samtliga identifierade deponier (totalt 32 stycken), där de tre som undersöktes vidare är markerade i rött (även Lövstatippen är rödmarkerad då en belastning beräknats även för den, dock i ett annat projekt, se nedan stycke).

Då Högbytorp ligger inom avrinningsområdet för Brobäckens, vilken undersöktes i *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde*, är belastningen från Högbytorp inkluderad i massbalansen via Brobäckens massflöde och inkluderas inte i belastningen från avfallsanläggningarna. Skå och Svartsjö deponi belastar Östra Mälarens VSO via Långtarmen och beräknades till 15, 40, 156 g/år av PFOS, $\sum_4$ PFAS respektive $\sum_{11}$ PFAS. I tidigare massbalans för VARO-Görvåln beräknades ett massflöde ut från Högbytorp avfallsanläggning baserat på ett stickprov i ett nedströms vattendrag och med hjälp av en medelbelastning från avfallsanläggningar i Sverige (Ekman och Ejhed, 2022). För exjobbet (Hård af Segerstad, 2023) bidrog Ragnsells (ägare till Högbytorp) med egen data för att bättre uppskatta belastningen. I Hård af Segerstad (2023) uppskattas belastningen från Högbytorp till 980, 215 samt 44 g/år för $\sum_{11}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS. För fullständig beskrivning av metodik kring massflödes-beräkningarna för Högbytorp, Skå och Svartsjö deponi samt inventeringslista av deponierna hänvisas det till rapporten Hård af Segerstad (2023).

En deponi som också utretts är Lövsta deponi vid Hässelby. Den årliga belastningen av PFAS från Lövsta deponiområde till Mälaren har beräknats av SWECO (2021) och summerar till PFOS 0,45 g/år samt $\sum_{11}$ PFAS 12,2 g/år. I SWECOs rapport redovisas även högsta uppmätta halt av $\sum_{18}$ PFAS ($\sum_{21}$ PFAS utom PFUnDS, PFTrDS och 6:2 FTS) samt årliga vattenflödet ut från området, vilket ger att belastningen $\sum_{18}$ PFAS kan beräknas till 15 g/år.



Figur 10. Inventering av deponier i Östra Mälarens VSO liksom VARO Görvälén sammanställd av Hård af Segerstad (2023). De tre rödmarkerade deponierna, Högbytorp, Svartsjö och Skå undersöktes mer grundligt inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde liksom inom exjobbet Hård af Segerstad (2023).

3.1.4 Markanvändning

Baserat på resultat från Ekman och Ejhed (2022) framkom att markanvändningen (inom VARO Görväln) bidrog med en försumbar belastning till Görväln. Då det innebär en stor tidsåtgång att beräkna belastningen från markanvändning baserat på markanvändning och avrinning för separata SUBID, bedömdes att det för dessa översiktliga massbalanser för Östra Mälarens VSO samt Rödstensfjärden görs en förenklad beräkning av PFAS-belastning från markanvändning. Belastningen från markanvändningen i de tillkommande områdena i Östra Mälarens VSO och VARO Rödstensfjärden uppskattades utifrån förhållandet mellan dessa områdens landareal och landarealen inom VARO Görväln. D.v.s. det antas att fördelning mellan olika typer av marktyper är den samma i hela Östra Mälarens VSO och skillnad i belastning av PFAS från olika områden antas enbart bero på skillnad i arean på området.

Landarealen inom Östra Mälarens VSO beräknas med hjälp av ArcMap till 306 240 917 m² vilket är 1,9 gånger större än landarealen inom VARO Görväln. Landarealen inom Rödstensfjärden beräknas med hjälp av ArcMap till 33 410 816 m² vilket motsvarar ca 21 % av landarealen inom VARO Görväln.

För fördjupad information kring beräkning av markanvändning läs motsvarande avsnitt i Ekman och Ejhed (2022).

3.1.5 Brandskumsplatser

metodik som togs fram i Ekman och Ejhed (2022) för beräkning av belastningen från tidigare brandskumsplatser, används även i detta projekt. Det bör påminnas om att denna metodik är mycket förenklad och bygger på antagandet om att 3 % av den PFAS som tillförts en plats läcker ut varje år (baserat på en beräknad utlakning vid Arlanda flygplats då det uppskattades att 3 % PFOS läckt ut från Arlanda till Mälaren (Norström et al., 2015)). En sammanfattning av vad antagandet om 3 % utlakning medför presenteras nedan, mer detaljer finns beskrivna i motsvarande avsnitt i Ekman och Ejhed (2022).

- Antar att utlakningen är linjär i tiden och endast beror av den mängd PFAS som ursprungligen släpptes ut på platsen, dvs utlakad mängd/år = 3 % av ursprungliga tillförseln av PFAS.
- Antar att alla platser där brandskum har använts har samma platsspecifika förhållande som Arlanda vad gäller jordart (lera som underlagrats av sandig morän) och halt organiskt material (ca 1 % i det grundvattenförande mineraljordarna). Detaljer kring de platsspecifika förhållandena vid Arlanda går att läsa mer om i (Rosenqvist et al., 2017)
- Antar att på alla platser där det angivits att skum har använts, antas det att B-skum innehållande PFAS har använts enligt koncentrationerna som presenteras i Tabell 11 i Ekman och Ejhed (2022).
- Antar att ingen nedbrytning eller retention i marken sker och att alla PFAS lakar ut lika fort, d.v.s. den relativa PFAS koncentrationen mellan olika PFAS är konstant i tid och rum.

Då brandskum innehållande PFOS förbjöds 2011 har två olika koncentrationer PFAS i brandskum använts för brandskum som använts innan och efter 2011, se detaljer kring detta i Ekman och Ejhed (2022).

Inom Östra Mälarens VSO finns totalt 489 platser där brandskum använts (Rosenqvist, 2020). Av dessa är tre klassade som brandsövningsplatser av något slag, och en är en oljedepå. För dessa fyra platser finns ingen skumangivelse rapporterad varför dessa inte kunnat inkluderas i beräkningarna. Av de 489 platser som ligger inom Östra Mälarens VSO ligger 103 stycken inom VARO Rödstensfjärden.

3.1.6 Enskilda avlopp

I Ekman och Ejhed (2022) togs det fram en belastning av PFAS i kg/pe (personekvivalent) baserat på halter PFAS uppmätt i avloppsvatten (endast avloppsvatten från hushållsspillvatten). Dessa

används även denna gång för beräkning av belastning för enskilda avlopp inom Östra Mälarens VSO liksom Rödstensfjärden. I Tabell 7 visas antal beräknade pe med enskilt avlopp per kommun inom respektive område. För de fall då koordinater för enskilda avlopp inte erhållits (Stockholms stad, Huddinge, Botkyrka och Salem) har antalet enskilda avlopp beräknats genom antagande att enskilda avlopp är jämt fördelat i kommunen och därför kan antas vara samma andel i de utvalda områden som andel area inom dessa områden. För Östra Mälarens VSO har antal enskilda avlopp för Järfälla och Upplands Bro antagits vara samma som för VARO Görväln då det nästan är ett 100 % överlapp mellan areorna. Antal pe/enskilt avlopp samt antal fastigheter med enskilda avlopp baseras på sammanställd data från SCB (Olshammar och Svanström, 2020).

För mer detaljer kring metodik och koncentrationer se motsvarande avsnitt i Ekman och Ejhed (2022).

Tabell 7. Information om total antal pe anslutna till enskilda avlopp inom Östra Mälarens VSO och Rödstensfjärden kopplat till kommun.

	Antal pe/enskilt avlopp	Östra Mälarens VSO			VARO Rödstensfjärden		
		Area andel i område	Antal enskilda avlopp	Tot antal pe.	Area andel i område	Antal enskilda avlopp	Tot antal pe.
BOTKYRKA	2,2	9 %	56	123	6 %	38	83
EKERÖ	2,3		2240*	5089		296*	672
HUDDINGE	2,2	14 %	206	456	8 %	116	257
JÄRFÄLLA	3,0		99**	300	-	-	-
SALEM	2,8	10 %	12	34	3 %	4	11
STOCKHOLM	2,3		10**	24	1 %	1	1
UPPLANDS-BRO	2,4		236	572	-	-	-

*Hämtad från ArcMAP baserat på geografisk information om enskilda avlopp

**Hämtas från antal enskilda avlopp beräknade för VARO Görväln, se Ekman och Ejhed (2022).

3.1.7 Punktkällor i Stockholms stad, Järfälla och Ekerö kommun

Inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO utförde NIRAS en kartläggning och beräkning av PFAS-belastning från tre olika områden i Ekerö och Järfälla kommun samt Stockholms stad (NIRAS Sweden AB, 2023). Samtliga tre områden hade valts ut på grund av att det fanns indikationer om att områdena är förorenade med PFAS – men där graden av förorening varit okänd.

I Järfälla kommun valdes Bolinders-området ut och PFAS mättes i dagvatten för att uppskatta PFAS flödet ut från området till Östra Mälaren. Belastningen från området till Östra Mälarens VSO uppskattades till 48, 34 och 20 g/år av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS. NIRAS bedömning var dock att PFAS primärt tillförs Östra Mälaren från områden uppströms Bolinders och inte området i sig.

I Stockholms stad valdes området som rinner till Räcksta träsk, dit både Vinsta industriområde, Johannelundstoppen samt området mot Kyrksjön rinner. Belastningen från området till Östra Mälarens VSO uppskattades till 61,18 och 9 g/år av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS. Då en skattning av belastning från Räcksta träsk redan beräknats baserat på vattenflöde och koncentrationer i Räcksta träsk kommer den siffran att användas i massbalansen.

I Ekerö kommun valdes avrinningsområdet till Hilleshögviken ut, i vilket bland annat Skå flygfält, Skå ÅVC samt några brandövningsplatser ligger. Belastningen från området till Östra Mälarens VSO uppskattades till 238, 91, 38 g/år av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS. Då en del av den skattade belastningen tillförs Östra Mälarens VSO via Långtarmen, beräknades belastning enbart på Görväln till 126, 64, 28 g/år av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS.

3.1.8 Fyrisån

I Ekman och Ejhed (2022) beräknades massflödet av PFAS från ett antal vattendrag som rinner ut till Östra Mälaren och det konstaterades att Fyrisån var det vattendrag som bidrog med störst massflöde. Av den anledningen var det av intresse att undersöka vidare om det fanns en tydlig påverkanskälla som orsakade detta massflöde till Fyrisån. I Ekman och Ejhed (2022) användes data från ett projekt som utförde PFAS-provtagningar på olika platser i Fyrisån. Provtagningen genomfördes under juni-sep 2020 (se utförlig beskrivning om dessa data under avsnitt 3.1 i Ekman och Ejhed (2022)). Med anledning av projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* som innebar att massbalansen för Östra Mälaren skulle uppdateras har därför även massbalansen för Fyrisån uppdaterats.

I kommande avsnitt refererar *Ärna/Ärnaområdet* till hela tillrinningsområdet mellan provpunkten "uppströms Ärna" och "nedströms Ärna" (se Appendix 8.2.1). För benämning av specifikt försvarsmaktens flygplats-område (inom Ärna-området) används *Uppsala Garnisons område*. Förkortningen KV refererar till *Uppsala avloppsreningsverk Kungsängsverket*.

Från tidigare massbalans har endast några uppdateringar gällande data gjorts:

- Koordinaterna är uppdaterade enligt det som framgår från Nygren et al. (2021). Uppgift om exakta koordinater fanns inte vid tillfället vid sammanställningen av Ekman och Ejhed (2022).
- Vattenflödet för punkten "Uppströms Ärna" har hämtats ut från SMHI vattenwebb från en punkt som ligger närmre platsen för PFAS-mätningen. Detta innebär att vattenflöde för SUBID 9528 används istället för SUBID 9496. Den nya punkten ligger ca 3 km uppströms tidigare punkt och innebär att flödet är något lägre än tidigare beräknade.
- Det konstaterades även att det var en skillnad i koncentration för punkten Vattholma mellan de data som erhöles direkt från Fyrisåns vattenvårdsförbund (som användes i Ekman och Ejhed (2022)) och det som erhöles direkt från SLU:s rapport 2021:8 (Nygren et al., 2021). För de uppdaterade beräkningarna används de data som presenteras i Nygren et al. (2021).

Det bör kommenteras att ingen av ändringarna ovan genererar några förändringar i slutsats utan påverkar enbart decimaler i de kommande beräkningar som görs.

För utförlig beskrivning av de beräkningar som gjorts liksom jämförelse mellan olika halter från olika studier utförda i Fyrisån se Appendix 8.1.3.

4. Resultat

Resultaten är uppdelade efter de olika massbalanser som beräknats för olika områden i Östra Mälaren. Massbalansernas avgränsningar har gjorts utifrån de bassänger som vattenverken ligger i:

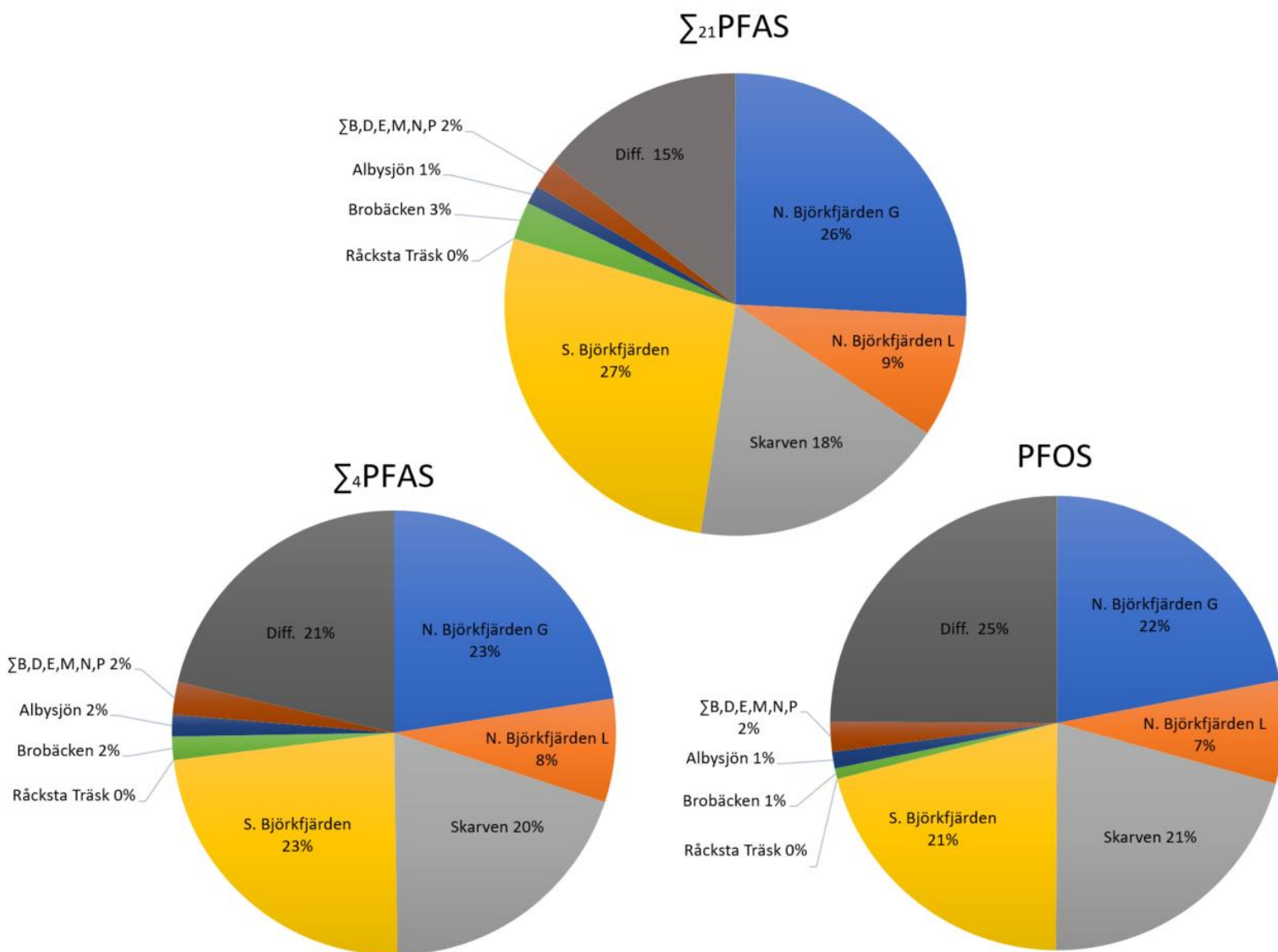
- Avsnitt 4.1: Massbalans Östra Mälarens VSO
 - Innefattar delbassängerna: Görväln, Långtarmen och Rödstensfjärden och Fiskarfjärden
 - Innefattar samtliga vattenverk: Görväln, Lovö och Norsborg vattenverk
- Avsnitt 4.2: Uppdaterad massbalans för Görväln
 - Innefattar Görväln och Lovö vattenverk
- Avsnitt 4.3: Massbalans för Rödstensfjärden
 - Innefattar Norsborg vattenverk

I Avsnitt 4.4 görs en utblick även mot nordöstra delen av Mälaren. Detta avsnitt sammanställer de data som insamlats dels för denna rapport och dels från tidigare rapport (Ekman och Ejhed, 2022) och ger en samlad bild av PFAS-flöden baserad på dagens data för hela nordöstra och östra delen av Mälaren.

I Avsnitt 4.5 sammanställs resonemang kring felmarginaler och osäkerheter i beräkningarna.

4.1 Massbalans för Östra Mälarens VSO

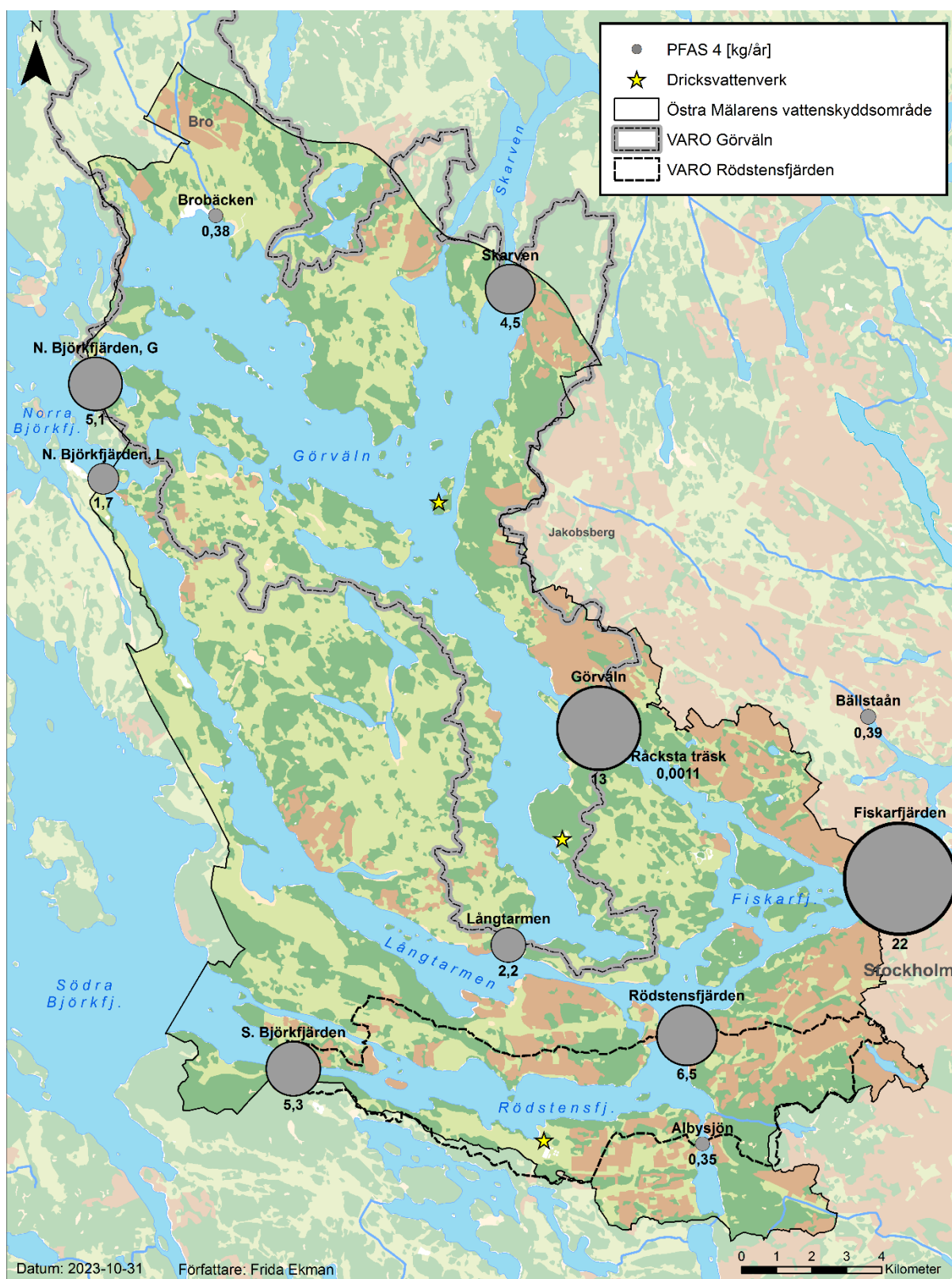
I Figur 11 visas massflöden av PFAS från olika källor till Östra Mälarens VSO i form av procentandel av utflödet. Vad andelarna motsvarar i kilogram visas i Tabell 8 och illustreras geografisk i Figur 12 för Σ_{21} PFAS samt för Σ_4 PFAS och PFOS i Figur 13 och Figur 14. Resultaten visar att Östra Mälarens VSO tillförs PFAS primärt från närliggande bassänger och ytvatten, totalt 84 %, 76 % och 73 % för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS respektive PFOS. Av denna andel står N. och S. Björkfjärden och Skarven för ungefär lika stor andel (kring 20-30 % vardera). Summan av belastningen från landområdena inom Östra Mälarens VSO (brandskum, deponier, enskilda avlopp och markanvändning, punktkällor) tillsammans med belastningen från nederbörd på vattenytan står för ca 2 % av PFAS belastningen. Av de mindre vattendragen är bidraget från Räcksta träsk försumbart, medan Albysjön och Brobäcken bidrar med mellan 1-3 %. Differensen (Diff.) representerar skillnaden mellan in- och utflöde och är större än uppskattad felmarginal och indikerar att det för hela Östra Mälarens VSO saknas inflöden i massbalansen i storleken ca 7,5, 4,8 och 3 kg/år för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS respektive PFOS (motsvarar 15 %, 21 %, 25 %). För detaljer kring belastningen från olika källor se Appendix 8.3.



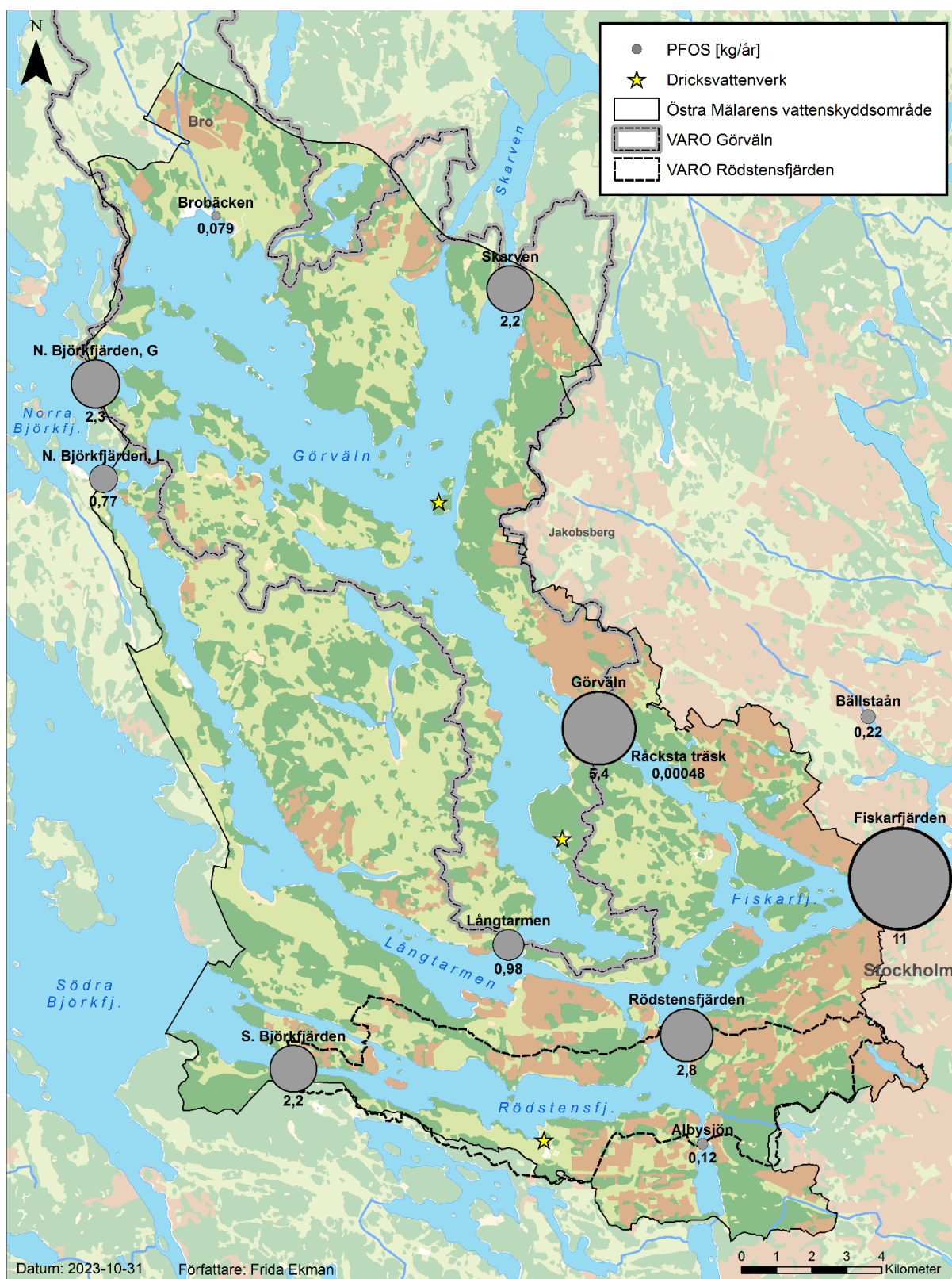
Figur 11. Massbalanser för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS och PFOS visade som andel av utflödet från Östra Mälarens VSO. $\Sigma B,D,E,M,N,P$ står för summan av belastning från brandskum, deponier, enskilda avlopp, markanvändning, nederbörd och punktkällor.



Figur 12. Karta över Σ_{21} PFAS flöden (kg/år) i Östra Mälarens VSO. Liknande kartor för Σ_4 PFAS och PFOS finns under Appendix 8.2, i Figur 13 och Figur 14.



Figur 13. Karta över $\sum_4$ PFAS flöden (kg/år) i Östra Mälarens VSO.



Figur 14. Karta över PFOS flöden (kg/år) i Östra Mälarens VSO.

Tabell 8. Sammanställning över beräknade massflöden (kg/år) för in- och utflöden till Östra Mälarens VSO.

Källtyp	Σ_{21} PFAS	% av UT	Σ_4 PFAS	% av UT	PFOS	% av UT
N. Björkfjärden G	13	26 %	5,1	23 %	2,2	21 %
N. Björkfjärden L	4,5	9 %	1,7	8 %	0,75	7 %
Skarven	9,3	18 %	4,5	20 %	1,8	17 %
S. Björkfjärden	14	27 %	5,3	23 %	2,3	22 %
Råcksta träsk	0,0074	0,01 %	0,0011	0,005 %	0,00048	0,005 %
Brobäcken	1,4	3 %	0,38	2 %	0,088	1 %
Albysjön	0,68	1 %	0,35	2 %	0,12	1 %
Brandskum	0,18	0,4 %	0,17	1 %	0,11	1 %
Deponier (Skå, Svartsjö, Lövsta)	0,17	0,3 %	0,040	0,2 %	0,015	0,1 %
Enskilda avlopp	0,044	0,1 %	0,037	0,2 %	0,016	0,2 %
Markanvändning	0,25	0,5 %	0,13	0,6 %	0,025	0,2 %
Nederbörd	0,11	0,2 %	0,031	0,1 %	0,0060	0,06 %
Punktkällor (Ekerö, Järfälla)	0,29	0,6 %	0,13	0,6 %	0,058	0,6 %
Totalt IN	44	85 %	18	79 %	7,9	75 %
Totalt UT	51		22		11	
Diff.	7,5	15 %	4,8	21 %	2,6	25 %

När differensen, d.v.s. bidrag av PFAS av okänt ursprung (givet felmarginal i beräkningar), för hela Östra Mälarens VSO jämförs med differensen uppdelad mellan de fyra olika delbassängerna observeras att mängd tillförd PFAS av okänt ursprung primärt kan härledas till Fiskarfjärden (Tabell 9). Det ska kommenteras att ingen djupgående massbalans utförts för Långtarmen och Fiskarfjärden varför deras differens endast beror av skillnad mellan in och utflöde från delbassängerna. För Görväln och Rödstensfjärden har inflöden från landområden (de som är kända eller har uppskattats) inkluderats i inflödet vilket presenteras mer ingående i kommande avsnitt.

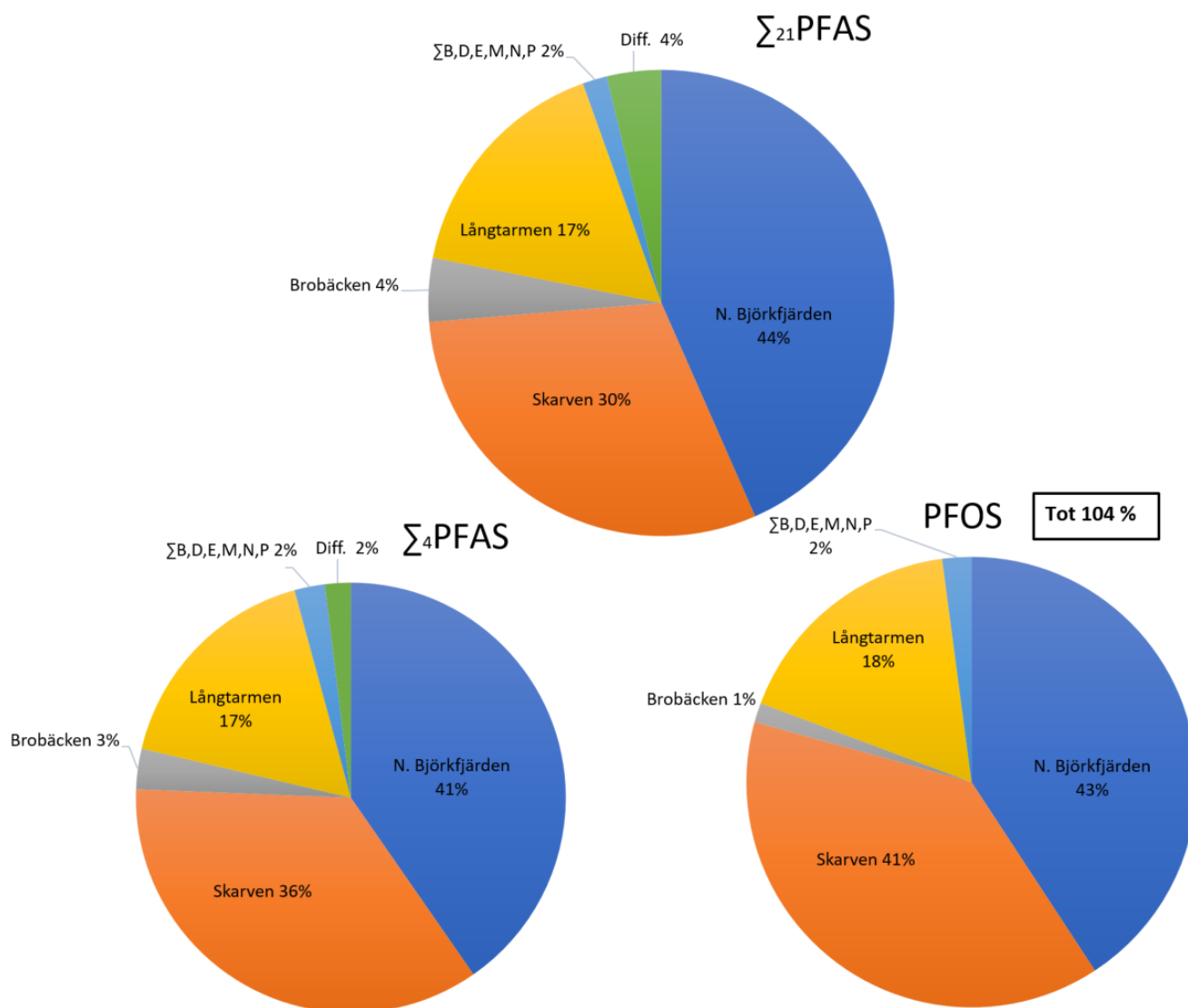
Tabell 9. Sammanställning över differens mellan in- och utflöden för de fyra delbassängerna jämfört med totala differensen för hela Östra Mälarens VSO (kg/år). Bidraget från diffusa källor, vattendrag och sjöar från avrinningsområden har inkluderats i inflödet för Görväln (se Tabell 10) och Rödstensfjärden (se Tabell 11). % -andelen anger hur stor del av totala differensen för hela Östra Mälarens VSO (fetmarkerade) vardera delbassäng står för.

	Σ_{21} PFAS				Σ_4 PFAS				PFOS			
	IN	UT	Diff.	%	IN	UT	Diff.	%	IN	UT	Diff.	%
Östra Mälaren VSO			7,5				4,8				2,6	
Delbassäng												
Görväln	27,7	30,6	2,9	16 %	11,7	12,5	0,8	5 %	5,5	5,4	-0,08	-9 %
Rödstensfjärden	14,1	16,9	2,8	28 %	5,3	6,5	1,2	16 %	2,2	2,8	0,6	25 %
Långtarmen	4,5	5,1	0,6	8 %	1,7	2,2	0,5	10 %	0,8	1,0	0,2	8 %
Fiskarfjärden	48,1	51,5	3,4	45 %	19,2	22,5	3,2	67 %	8,3	10,5	2,2	84 %

4.2 Massbalans för Görväln

För den uppdaterade massbalansen för Görväln är det enbart nytillkommen data i ytvatten som bidrar till uppdatering. Då Brobäcken denna gång är med har avfallsanläggningen Högbytorp inkluderats i den belastningen och visas därför inte separat. För alla övriga källor (d.v.s. alla förutom ytvatten) är resultaten samma som de som beräknats i Ekman och Ejhed (2022).

I Figur 15 presenteras massflöden av PFAS till Görväln i form procentandel av utflödet. Vad andelarna motsvaras i kilogram visas i Tabell 10 och en geografisk överblick av flödena visas i Figur 12 för Σ_{21} PFAS samt för Σ_4 PFAS och PFOS i Figur 13 och Figur 14. Resultaten visar att Görväln primärt tillförs PFAS från Norra Björkfjärden (ca 40-45 %), Skarven (ca 30-40 %), Långtarmen (ca 17 %) samt från Brobäcken (ca 1-4 %). Precis som för massbalansen för Östra Mälarens VSO står belastningen från landområdena inom VARO Görväln (brandskum, enskilda avlopp och markanvändning) tillsammans med belastningen från nederbörd på vattenytan för ca 2-3 % av PFAS belastningen. Resultaten visar även att differensen är mindre än för Östra Mälarens VSO, ca 2-4 % för Σ_{21} PFAS och Σ_4 PFAS, och -4 % PFOS (d.v.s. beräknade inflöden > utflöde). Differenserna är små (ca 0,2-1,2 kg) och ligger inom felmarginalerna för beräkningarna.



Figur 15. Massbalanser för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS och PFOS visade som andel av utflödet från Görväln. $\Sigma_{B,D,E,M,N}$ står för summan av belastning från brandskum, deponier, enskilda avlopp, markanvändning och nederbörd.

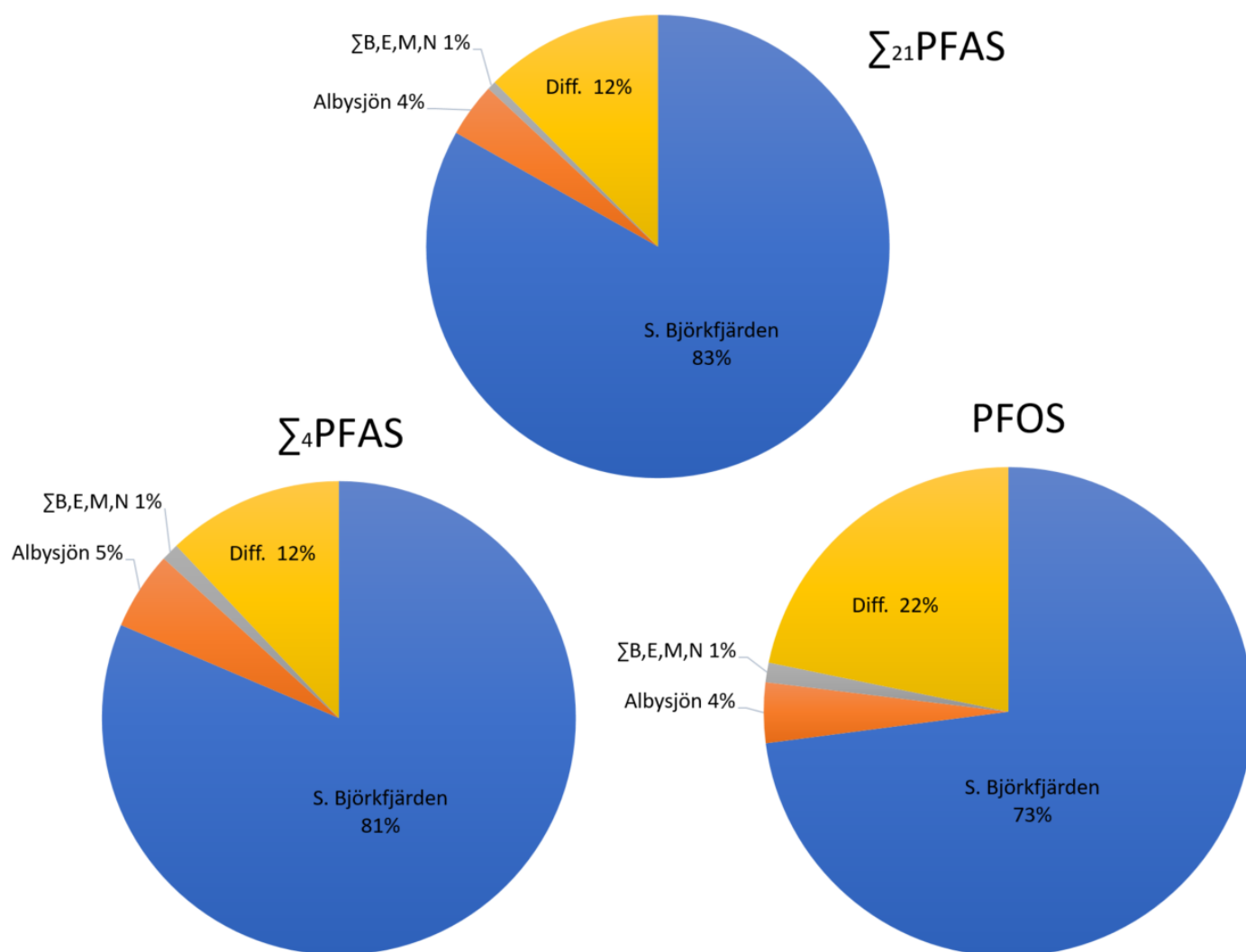
Tabell 10. Sammanställning över beräknade massflöden (kg/år) för in- och utflöden till Görväln. * $\sum_{18}\text{PFAS}$ **Ingen data för $\sum_4\text{PFAS}$ finns för Lövsta deponin varför det uppskattas med flödet av PFOS.

Källtyp	$\sum_{21}\text{PFAS}$	% av UT	$\sum_4\text{PFAS}$	% av UT	PFOS	% av UT
N. Björkfjärden	13	44 %	5	41 %	2	43 %
Skarven	9,3	30 %	4,5	36 %	2,2	41 %
Brobäcken	1,4	4 %	0,4	3 %	0,08	1 %
Långtarmen	5,1	17 %	2,2	17 %	1,0	18 %
Brandskum	0,054	0,2 %	0,051	0,4 %	0,031	1 %
Deponier (Lövsta)	0,015*	0,05 %	0,00045**	0,004 %	0,00045	0,01 %
Enskilda avlopp	0,014	0,0 %	0,011	0,1 %	0,0049	0,1 %
Markanvändning	0,21	0,7 %	0,11	0,9 %	0,031	0,6 %
Nederbörd	0,055	0,2 %	0,018	0,1 %	0,0036	0,1 %
Punktkällor (Ekerö, Järfälla)	0,17	0,6 %	0,099	0,8 %	0,048	0,9 %
Totalt IN	29,4	96 %	12,3	98 %	5,7	104 %
Totalt UT	30,6		12,5		5,4	
Diff.	1,2	4 %	0,24	2 %	-0,23	-4 %

4.3 Massbalans för Rödstensfjärden

I Figur 16 presenteras massflöden av PFAS till Rödstensfjärden i form procentandel av utflödet. Vad andelarna motsvaras i kilogram visas i

Tabell 11 och en geografisk överblick av flödena visas i Figur 12 för $\sum_{21}\text{PFAS}$ samt för $\sum_4\text{PFAS}$ och PFOS i Figur 13 och Figur 14. Resultaten visar att Rödstensfjärden primärt tillförs PFAS från Södra Björkfjärden (ca 80 %), Albysjön bidrar med en belastning på ca 4 %. Summan av belastningen från landområdena inom VARO Rödstensfjärden (brandskum, enskilda avlopp och markanvändning) tillsammans med belastningen från nederbörd på vattenytan står för ca 1 % av PFAS belastningen. Differensen är för Rödstensfjärden 12 %, 12 % och 19 % för $\sum_{21}\text{PFAS}$ och $\sum_4\text{PFAS}$ och PFOS respektive, detta motsvara ca 2, 0,8 och 0,6 kg/år vilket är något större än den uppskattade felmarginalen för ytvatten, detta indikerar att det saknas källor till inflöden av PFAS i massbalansen. För detaljer kring belastningen från olika källor se Appendix 0.



Figur 16. Massbalanser för Σ_{21} PFAS, Σ_4 PFAS och PFOS visade som andel av utflödet från Rödstensfjärden. $\Sigma_{B,E,M,N}$ står för summan av belastning från brandskum, enskilda avlopp, markanvändning och nederbörd.

Tabell 11. Sammanställning över beräknade massflöden (kg/år) för in- och utflöden till Rödstensfjärden.

Källtyp	Σ_{21} PFAS	% av UT	Σ_4 PFAS	% av UT	PFOS	% av UT
S. Björkfjärden	14	83 %	5	81 %	2	76 %
Albysjön	0,68	4 %	0,35	5 %	0,12	4 %
Brandskum	0,058	0,3 %	0,055	1 %	0,033	1 %
Enskilda avlopp	0,0068	0,04 %	0,0057	0,1 %	0,0025	0,1 %
Markanvändning	0,028	0,2 %	0,014	0,2 %	0,0027	0,1 %
Nederbörd	0,011	0,1 %	0,0031	0,05 %	0,00060	0,02 %
Totalt IN	14,9	88 %	5,7	88 %	2,4	78 %
Totalt UT	16,9		6,5		3,0	
Diff.	2,1	12 %	0,78	12 %	0,66	22 %

4.4 Utblick mot resten av Mälaren

4.4.1 Massflöde från västra, nordöstra och östra Mälaren

I Tabell 12 visas resultaten för beräknade PFAS-belastningar från de olika delarna av Mälaren och hur stor andel av det totala PFAS-utflödet från Mälaren varje del står för. Indelningen baseras på att Västra Mälaren innefattar allt vatten/PFAS som tillförs Mälaren väster om Östra Mälarens VSO (innefattar alltså N. och S. Björkfjärden och allt väster om dessa bassänger), Nordöstra Mälaren innefattar allt vatten/PFAS som tillförs norr om Östra Mälarens VSO (dvs Skarven och Ekoln) och Östra Mälaren innefattar allt vatten/PFAS som tillförs inom Östra Mälarens Vattenskyddsområde. Resultaten visar att västra delen står för ca 85 % av tillrinningen (vattenflöde) till Mälaren och för 62 %, 54 % och 51 % av belastningen av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS på Mälaren. Motsatt förhållande observeras för nordöstra och östra delen av Mälaren där belastningen av PFAS är högre än procentandel tillrinning som områdena bidrar med. Enligt beräkningarna tillför Östra Mälaren 1 % av vattenflödet till Mälaren, och mellan 20-30 % av all PFAS.

Tabell 12. PFAS-belastning från västra, nordöstra och östra Mälaren till Mälarens utlopp. Till höger visas en grov skattning av tillrinningen som delarna bidrar med till Mälaren (Mälarens Vattenvårdsförbund, 2023).

	$\sum_{21}$ PFAS [kg/år]	% av Utflöde	$\sum_4$ PFAS [kg/år]	% av Utflöde	PFOS [kg/år]	% av Utflöde	Andel tillrinning, vattenflöde, till Mälaren
Västra Mälaren	32	62 %	12	54 %	5	51 %	85 %
Nordöstra Mälaren	9	18 %	4	20 %	2	21 %	15 %
Östra Mälaren	10	20 %	6	27 %	3	29 %	1 %
Mälaren totala utflödes	51		22		11		150 m³/s

4.4.2 Massflöden från nordöstra Mälaren

När data samställs – dels från nytilkommen data från *Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO* liksom från tidigare kartläggning Ekman, Ejhed (2022) - kan en överblick av PFAS-flöden från vattendrag i nordöstra och östra delen av Mälaren visualiseras.

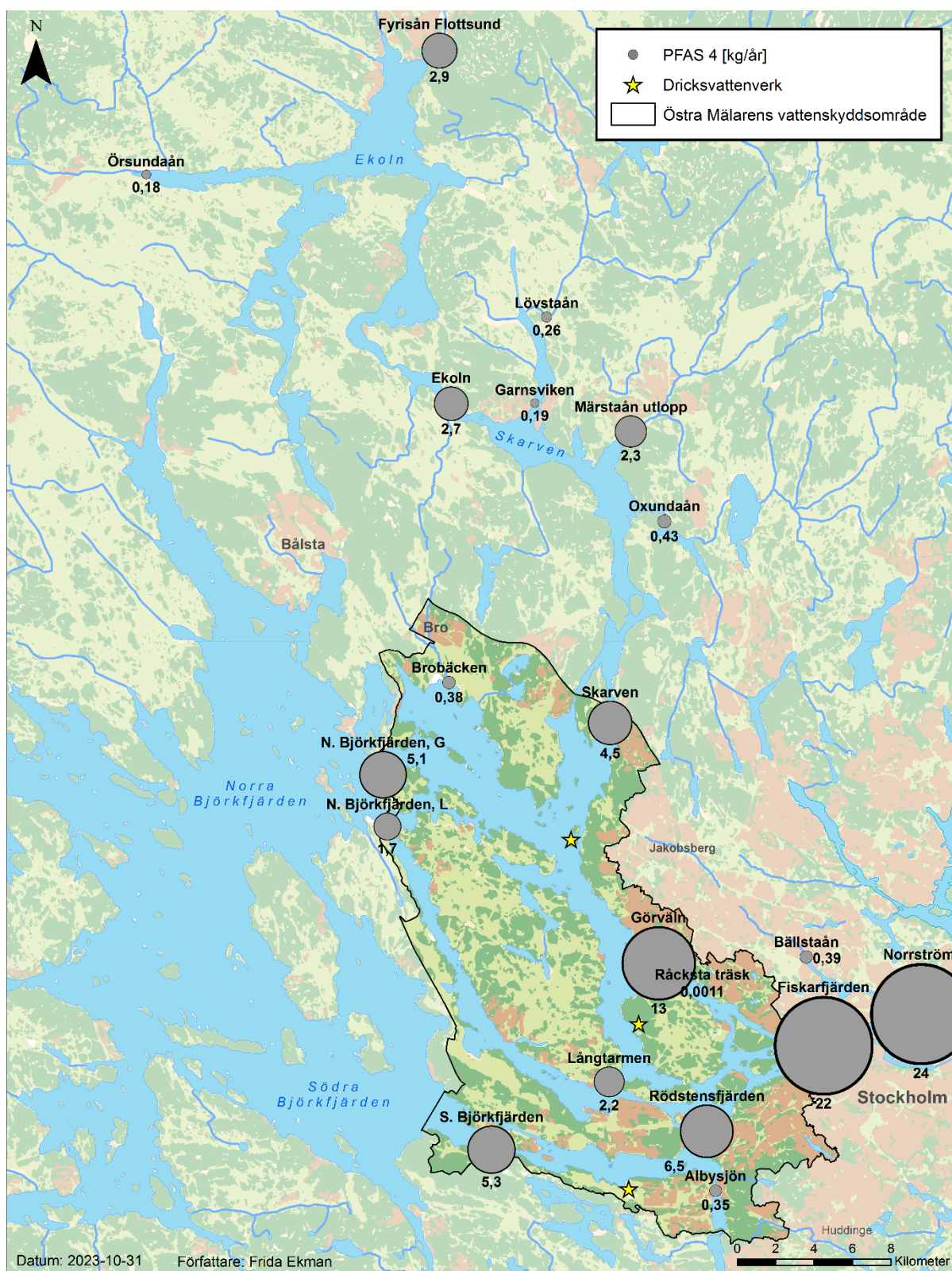
I Tabell 13 visas resultat för massflöden av PFAS från vattendrag i nordöstra och östra delen av Mälaren. Liknande visas massflöden i kartor i Figur 17, Figur 18 och Figur 19 för $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS och PFOS respektive. Tabellen är sorterad efter högst belastning av $\sum_{21}$ PFAS per år. För vattendragen har Fyrisån högst belastning (ca 4 kg/år av $\sum_{21}$ PFAS), och har även högst vattenflöde, ca 20 ggr högre än Märstaån som har näst högst belastning av vattendragen (ca 3 kg/år $\sum_{21}$ PFAS). Även Brobäcken sticker ut med tredje störst belastning (ca 1,4 kg/år av $\sum_{21}$ PFAS) trots lågt flöde relativt Fyrisån.

Tabell 13. Massflöden av PFAS via ytvatten i nordöstra och östra delen av Mälaren. Tabellen är sorterad efter högst andel $\sum_4$ PFAS av $\sum_{21}$ PFAS. I Appendix 8.2 finns presenterade även min- och maxmassflöden baserat på min- och max-koncentrationer. ** $\sum_{29}$ PFAS, * $\sum_9$ PFAS.

Plats	$\sum_{21}$ PFAS [kg/år]	$\sum_4$ PFAS [kg/år]	PFOS [kg/år]	Q [m ³ /s]
Fyrisån Flottsund**	4,0	2,9	1,10	14
Märstaån utlopp*	3,3	2,3	1,13	0,6
Brobäcken	1,4	0,38	0,08	0,1
Oxundaån*	1,2	0,43	0,15	1,9
Lövstaån E4*	0,91	0,26	0,05	0,9
Örsundaån*	0,88	0,18	0,00	5,2
Bällstaån*	0,81	0,39	0,22	0,4
Albysjön	0,68	0,35	0,12	0,7
Garnsviken*	0,46	0,19	0,08	1,2
Räcksta träsk	0,007	0,001	0,0005	0,005



Figur 17. Massflöden av Σ_{21} PFAS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.



Figur 18. Massflöden av Σ_4 PFAS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.



Figur 19. Massflöden av PFOS i nordöstra och Östra delen av Mälaren.

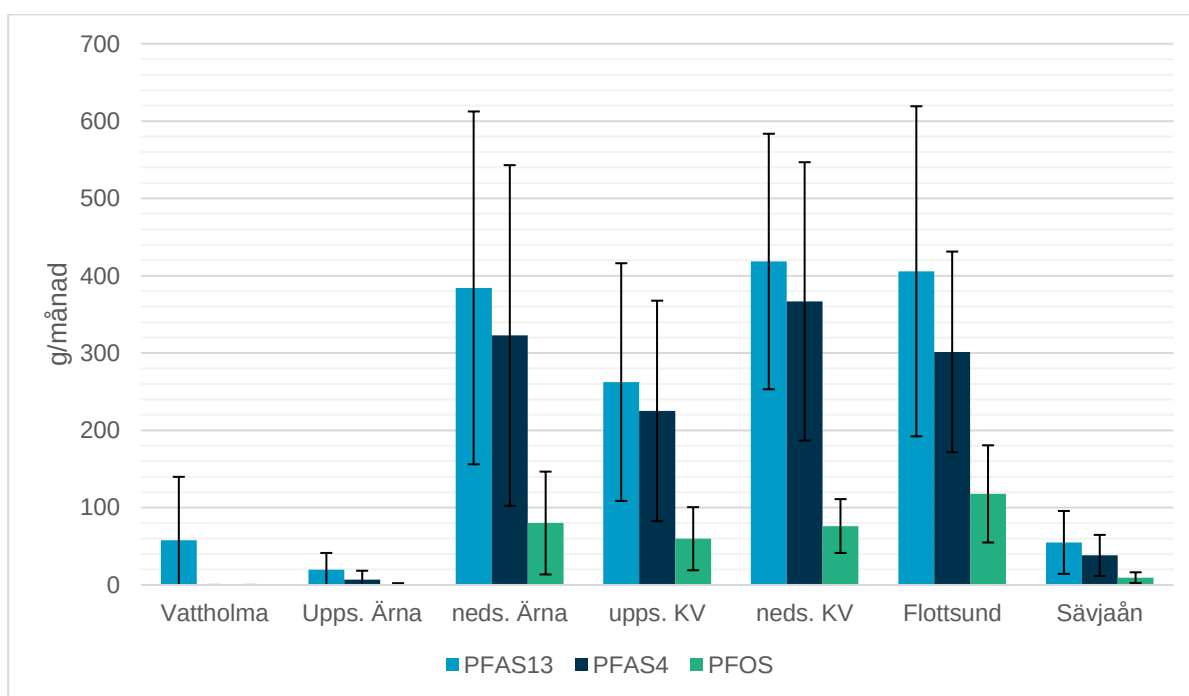
4.4.2.1 Massflöden i Fyrisån

Fyrisån har i tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) identifierats vara ett vattendrag som bidrar med betydande mängd PFAS till Mälaren och det har därför varit av intresse att undersöka vidare om det fanns en tydlig påverkanskälla som orsakade detta massflöde till Fyrisån. I Ekman och

Ejhed (2022) användes data från ett projekt (Nygren et al., 2021) som utförde PFAS-provtagningar på olika platser i Fyrisån. Med anledning av projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* som innebar att massbalansen för Östra Mälaren skulle uppdateras har därför även massbalansen för Fyrisån uppdaterats.

Resultaten för månads-medelmassflöde för perioden juni-september 2020 för varje punkt undersökt i Fyrisån visas i Figur 20. Massflödena visas tillsammans med standardavvikelsen för massflödena under de fyra månaderna, och samtliga massflöden har beräknats baserat på vattenflödet och koncentrationen för varje månad. Resultaten i Figur 20 visar att det är en stor variation i massflöde beroende på vilken månad som studeras då standardavvikelsen är +/- 200 g/månad i vissa fall. Resultaten visar även att det sker en markant ökning i massflödet mellan punkten "uppströms Ärna" och "nedströms Ärna" (i medel ca 400 g/månad Σ_{13} PFAS, och ca 80 g/månad PFOS). Även mellan punkten uppströms och nedströms KV (Uppsala avloppsrenignsverk, Kungsängsverket) sker en ökning. Månadmedel vid Fyrisåns utlopp, Flottsund, är ca 400, 300 och 100 g/månad för Σ_{13} PFAS, Σ_4 PFAS och PFOS respektive.

Det kan observeras att punkterna Vattholma, Upps. Ärna samt Sävjaån är relativt opåverkade, medan samtliga fyra punkter som ligger nedströms Ärna fram till Fyrisåns utlopp (Flottsund) är påverkade av inflöden av PFAS.



Figur 20. Medelmassflöde för varje punkt tillsammans med standardavvikelsen. Staplarnas färg representerar olika summor av PFAS.

4.5 Felmarginal och osäkerhet i beräkningarna

Likt tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) har ingen djupgående osäkerhetsanalys utförts då detta inte bedömts möjligt. Beräkningarna av massflödena ska ses som indikationer då förenklingar och generaliseringar har gjort i metodiken för att få fram skattningarna liksom att det förekommer osäkerheter i själva PFAS-analysen (ca 30 %) liksom i de modellerade vattenflödena som använts för ytvatten (ca 8-30 %). Osäkerheterna ger dock störst utslag för de större massflödena (vilket korrelerar med stort vattenflöde).

I och med att ny data samlats in vid fyra tillfällen under 2022 och 2023 inom projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* har det möjliggjort beräkning av en standardavvikelse av de beräknade massflödena av PFAS (samma årsmedelvattenflöde har använts) för att ge en

indikation på storleken för en potentiell felmarginal orsakad av variationer i PFAS-koncentration vid provplatserna, se Tabell 14. Från tabellen framgår att för Fiskarfjärden som har störst flöde är det rimligt att anta en felmarginal på ca +/- 6 kg för Σ_{21} PFAS, medan det för de delbassänger med vattenflöde mellan 16-93 m³/s kan antas en felmarginal på ca +/- 1 kg Σ_{21} PFAS. För de mindre vattendragen är felmarginalen på mindre än +/- 1 kg Σ_{21} PFAS. För Brobäcken där koncentrationerna varierar kraftigt är felmarginalen på över +/- 1 kg trots ett relativt lågt vattenflöde (observera dock att vattenflödet är uppmätt även det vid enbart fyra tillfällen varför det finns osäkerheter även i vattenflödet).

Tabell 14. Standardavvikelse (+/- kg/år) för beräknade massflöden för ytvatten baserat på PFAS-koncentrationer från fyra provtagningstillfällen under 2022/2023 liksom årsmedelvattenflöde för perioden.

	Σ_{21} PFAS	Σ_4 PFAS	PFOS	Årsmedelvattenflöde [m ³ /s]
Fiskarfjärden	6,0	3,0	2,4	150
Görvåln	1,2	1,3	0,9	93
Rödstensfjärden	1,9	0,9	0,5	55
N. Björkfjärden, G	1,7	0,7	0,2	55
S. Björkfjärden	0,6	0,5	0,2	54
Skarven	2,0	1,1	0,5	22
N. Björkfjärden, L	0,6	0,2	0,1	18
Långtarmen	0,7	0,2	0,1	16
Albysjön	0,06	0,02	0,01	0,7
Brobäcken	1,2	0,2	0,04	0,093
Råcksta träsk	0,03	0,0002	0,0002	0,0046

5. Diskussion

För den uppdaterade massbalansen som utförts i denna rapport är den stora skillnaden från tidigare massbalans för Görväln i Ekman och Ejhed (2022), att ny data insamlats under 2022/2023 vilket möjliggjort en utvidgning av massbalansen till att inkludera hela Östra Mälarens vattenskyddsområde. Placeringen av de nya provpunkterna innebar även att data bättre representerade halterna i in- och utflöden mellan bassängerna vilket i sin tur bidragit till bättre skattningar av PFAS-flödena mellan olika bassänger i Östra Mälaren. Utöver att beräkna en massbalans för hela Östra Mälarens VSO (innehåller samtliga vattenverk: Lovö och Norsborg (SVOA) samt Görväln (Norrvatten)), beräknades även en massbalans för Görväln (innehåller Görväln och Lovö vattenverk) liksom Rödstensfjärden i vilken Norsborg vattenverk ligger.

5.1 Östra Mälaren VSO

Likt tidigare massbalans för Görväln (Ekman och Ejhed, 2022) kan det konstateras att även hela Östra Mälarens VSO primärt tillförs PFAS från närliggande bassänger (N. Björkfjärden, S. Björkfjärden, Skarven), 80, 73 och 71 % för $\sum_{21}\text{PFAS}$, $\sum_4\text{PFAS}$ respektive PFOS. Betydande punktkällor och vattendrag som ligger uppströms Östra Mälaren har alltså stor påverkan även på vattenkvaliteten i Östra Mälaren. Av de tre inkluderade vattendragen som rinner till Östra Mälarens VSO står Brobäcken för 3 % av tillførseln av $\sum_{21}\text{PFAS}$, Albysjön för 1 % och Räcksta träsk bidrar med försumbar mängd. För att vara ett enskilt utlopp kan därför Brobäcken och Albysjön räknas som betydande tillflöden av PFAS till Östra Mälarens VSO. Likt tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) konstateras även att det totala bidraget från landområdena inom Östra Mälarens VSO från brandskum, deponier, enskilda avlopp, markanvändning och nederbörd står för en försumbar tillførsel av PFAS, ca 1 % av totala mängden.

De nytilkomna data för PFAS i olika in- och utlopp i Östra Mälaren möjliggjorde en jämförelse av PFAS-belastning från västra Mälaren (allt väster om, och inklusive, N. och S. Björkfjärden) jämfört med östra (allt inom Östra Mälarens VSO) och nordöstra Mälaren (allt norr om Skarven). Indikationer på att nordöstra Mälaren är tungt belastad av PFAS jämfört med hela Västra Mälaren visades i tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022) och bekräftades även i detta projekts uppdaterade massbalans baserat på mer aktuell data. Trots att nordvästra Mälaren endast tillför ca 15 % av tillrinningen (jämfört med totala utflödet ut från Mälaren) tillför den ca 20 % av all PFAS. Detta kan jämföras med västra Mälaren som bidrar med ca 85 % av tillrinningen men endast ca 50-60 % av all PFAS. Överraskande var att om det antas att Östra Mälaren (Görväln, Långtarmen, Fiskarfjärden och Rödstensfjärden) står för resterande tillførd mängd PFAS och tillrinning konstateras att Östra Mälarens endast står för ca 1 % av tillrinningen men mellan 20-30 % av all PFAS tillførd Mälaren. Ungefär en fjärdedel av all PFAS som tillførs Mälaren tillførs alltså från ett område som endast bidrar med en nästan försumbar del av tillrinningen. Då det inte är känt att någon stor påverkanskälla finns inom Östra Mälarens VSO (förutom Högbytorp avfallsanläggning vilkens belastning är inkluderad i och med tillflödet från Brobäcken) är denna belastning troligen orsakad av många små punktkällor som exempelvis industrier, tätorter, avfallsanläggningar och deponier som tillførs Östra Mälaren via dagvatten. Det finns exempelvis många deponier inom vattenskyddsområdet som det inte har varit möjligt att beräkna en belastning för men resultaten för Skå och Svartsjö deponi (ca 160 g/år $\sum_{21}\text{PFAS}$, (NIRAS Sweden AB, 2023)) indikerar att dessa deponier tillsammans kan bidra med en stor belastning (Hård af Segerstad, 2023).

Om det antas att den differens som beräknades i projektet (d.v.s. mängd PFAS som inte kunde härledas till en viss typ av källa) enbart är orsakad av interna källor från området och inte felberäkningar i in- och utflöden från närliggande bassänger, är det en betydande andel om ca 7,5 kg $\sum_{21}\text{PFAS}$ årligen som tillførs Östra Mälaren från landområdena. Det kunde konstateras att en stor andel (45 %, 67 % och 84 % för $\sum_{21}\text{PFAS}$, $\sum_4\text{PFAS}$ respektive PFOS) av detta troligtvis tillførs inom Fiskarfjärdens avrinningsområde. Fiskarfjärden har en stor yta tätorter inom sitt avrinningsområde vilket styrker behovet av att lokalt kartlägga PFAS i dagvatten för att kunna källspåra betydande läckage av PFAS. I och med den högre andelen tätorter i Fiskarfjärdens avrinningsområde relativt andelen inom VARO Görväln (vilken belastningen av PFAS från markanvändning baseras på) kan den beräknade belastningen från dagvatten vara underskattad i denna sammanställning. Det finns

därför ett värde i att räkna mer detaljerat på PFAS-belastningen från Fiskarfjärdens avrinningsområde med särskilt fokus på dagvatten i framtida studier.

5.2 Massbalans för Görväln

I tidigare massbalans är det primärt två saker som har förändrats i samband med den nyare och mer aktuella data som insamlats under projektets.

Tidigare skattning av belastning från avfallsanläggningen Högbytorp var baserat på endast ett stickprov nedströms Högbytorp (i Sätträbäcken som rinner ut till Brobäcken som mynnar ut i Görväln) och ett försök gjordes att skatta belastningen med hjälp av belastningen från en medelavfallsanläggning i Sverige (Ekman och Ejhed, 2022). I denna uppdaterade massbalans har en bättre skattning kunnat utföras då PFAS-provtagningar och flödesmätningar utförts vid fyra tillfällen i Brobäcken. Belastningen från Brobäcken beräknas till 1400 g/år $\sum_{21}$ PFAS och 10 g/år av PFOS till Görväln. Detta kan jämföras med Högbytorps egna beräkningar av vad avfallsanläggningen bidrar med till Brobäcken på 980 g/år $\sum_{11}$ PFAS samt 44 g/år av PFOS (Hård af Segerstad, 2023) – vilket kan bedömas ligga i samma storleksordning som denna rapports beräknade belastning för Brobäcken. Resultaten indikerar därför att bidrag till Brobäcken, från andra källor än Högbytorp, troligtvis är försumbara. PFAS-belastningen från Brobäcken är stor i relation till det låga vattenflödet (jämfört med exempelvis Märstaån), och kan som inflödespunkt anses vara betydande för tillförsel av PFAS till Östra Mälaren och Görväln.

Tidigare beräknades differensen mellan in- och utflöde av PFAS i Görväln till knappt 3 kg för $\sum_4$ PFAS och PFOS (motsvarade en differens på ca 45 %) vilket innebar att källan till nästan hälften av all $\sum_4$ PFAS/PFOS som flödade ut från Görväln var av okänt ursprung (Ekman och Ejhed, 2022). För den uppdaterade massbalansen är differensen i storleken av några procent för samtliga PFAS (mellan +/- 4 %) vilket kan antas ligga inom felmarginalen för beräkningarna. Denna skillnad (mellan tidigare och uppdaterade massbalansen) beror främst på kombinationen av att utflödet från Görväln är något lägre än tidigare beräknad belastning samt att inflödena av främst PFOS från N. Björkfjärden, Skarven och Långtarmen är högre än tidigare beräknad belastning. Tidigare provpunkter, som låg till grund för beräkningarna till tidigare massbalans, låg i mitten av bassängerna till skillnad från de faktiska utloppen som provtogs i denna undersökning. Resultaten indikerar därför att det troligtvis tillförs ytterligare PFAS närmare utloppen av N. Björkfjärden, Skarven och Långtarmen som inte kom med i skattningarna av belastningar till den tidigare massbalansen.

5.3 Massbalans för Rödstensfjärden

Halterna av PFAS i Rödstensfjärden, där Norsborg vattenverk ligger, är något lägre än de halter som återfinns i Görväln, detta styrks även av SVOA:s egna månadsvisa provtagningar som visar på lägre halt PFAS vid Norsborg än Lovö vattenverk i Görvälnbassängen. Detta beror på att Rödstensfjärden får allt sitt vatten från S. Björkfjärden vilken har en halt på i medel 3,1 ng/l $\sum_4$ PFAS jämfört med Skarven som har en halt på 6,4 ng/l $\sum_4$ PFAS (bidrar med 1/3 av vattenflödet in till Görväln).

Det är dock inte lika stor skillnad mellan halterna vid utflödena från Rödstensfjärden och Görväln. Halterna vid utloppet från Görväln är 10, 4,3 och 2,1 ng/l för $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS, vilket kan jämföras mot 9,7, 3,7, och 1,8 ng/l i Rödstensfjärdens utlopp. Detta visar på hur Skarvens vatten med höga koncentrationer primärt späds ut av vatten från N. Björkfjärden i Görväln, medan det för Rödstensfjärden tillförs PFAS från avrinningsområdet vilket bidrar till högre koncentration vid utloppet. Albysjön rinner ut till Rödstensfjärden och mätningarna från det utloppet, visar att Albysjön står för 4-5 % av den PFAS som återfinns i utloppet från Rödstensfjärden (motsvarar 0,7, 0,4 och 0,1 kg/år av $\sum_{21}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS och PFOS). Det svarar dock inte för allt som tillförs inom VARO Rödstensfjärden då det finns en differens på 12 % för $\sum_{21}$ PFAS och $\sum_4$ PFAS, och 22 % för PFOS (motsvarar ca 2,1 kg, 0,8 kg, 0,6 kg respektive). Då mätningar vid Norsborg vattenverk visar på samma halter som vid inloppet vid Rödstensfjärden indikerar detta att den största andelen PFAS troligtvis tillförs Rödstensfjärden nedströms Norsborg vattenverk. Möjliga PFAS-källor är dagvatten från köpcentret Kungens Kurva vilket ligger inom VARO Rödstensfjärden men precis vid utloppet liksom nedlagda deponier. Tre stycken deponier, utan känd PFAS-belastning på Mälaren, finns identifierade nedströms Norsborg Vattenverk inom VARO Rödstensfjärden (Hård af Segerstad, 2023).

5.4 Massflöden från vattendrag i nordöstra Mälaren

En uppdaterad beräkning av massflöde från Fyrisåns utlopp gjordes baserat på data från 2019 och 2020. Det uppdaterade massflödet på 4 kg/år $\sum_{13}$ PFAS är lägre än den uppskattade belastningen som gjordes i Ekman och Ejhed (2022) på 7,9 kg/år $\sum_8$ PFAS (baserat på data från 2014/2015, samt årsmedelvattenflöde). Belastningen på 4,0 kg/år (data från 2019/2020) är dock i samma storleksordning som belastningen som beräknas i Nguyen et al. (2022) på ~5,2 kg för år 2013 i Fyrisån. Skillnaden på det tidigare beräknade massflödet och det uppdaterade beror på att det är olika beräkningssätt som ligger till grunden för belastningen. För vattendrag där både koncentration och vattenflöden kan variera kraftigt är troligtvis det mest representativa årsmassflödet baserat på summan av månadsmassflöden (vilket är fallet för det uppdaterade massflödet liksom Nguyen et al. (2022) skattning), och inte på årsmedel-koncentrationer och vattenflöden som skattningen i Ekman och Ejhed (2022) baseras på. Mer data från Fyrisån behövs för att göra en mer korrekt och aktuell skattning. Det vore mycket värdefullt med månadsprovtagningar (likt det som finns för 2013) för att se om de åtgärder som Fortifikationsverket och Försvarmakten utfört vid Uppsala Garnisons område under 2017 har haft effekt på PFAS-halterna i Fyrisån. Detta i kombination med PFAS-mätningar i Ekolns utlopp vore mycket värdefullt eftersom att det är antaget att Fyrisån är den primära källan av PFAS till Ekoln (Prajapati, 2022), och därmed en betydande källa till Skarven och slutligen Görväln.

Resultaten från kartläggningen av området uppströms Fyrisån tyder på att området mellan "uppströms Ärna" och "nedströms Ärna" (Ärna-området) bidrar med en betydande belastning PFAS till Fyrisån (ca 1 kg/år PFOS), i samma storlek som Arlanda flygplats påverkan på Märstaån (ca 1,3 kg/år PFOS, Norström et al., (2015)).

Uppsala Garnison (vilket ligger inom Ärnaområdet) har ett upprättat egenkontrollprogram för dagvattensystemet och Norrvatten och SVOA har fått ta del av analysresultatet från egenkontrollen mellan åren 2017 och 2022. Resultaten från deras egenkontrollprogram visar på halter mellan ett hundratal ng/l uppemot 11 000 ng/l $\sum_{11}$ PFAS i dagvatten ut från området. Det finns dock inga flödesmätare i dagvattensystemet men utifrån regnmängder har Fortifikationsverket uppskattat massflödet av $\sum_{11}$ PFAS från dagvatten till Fyrisån till 67 g och 97 g för år 2020 respektive 2021. Det finns dock indikationer på att det även sker inläckage av markvatten i dagvattennätet i området (Fortifikationsverket, 2023). Uppsala är ett väl kartlagt område med avseende på PFAS och flertalet källor har identifierats, ingen dock utöver Librobäck industriområde som potentiellt skulle kunna påverka Fyrisån i området kring Ärna (Tiberg, 2017). Mer frekvent månadsprovtagning i Fyrisån, på flera platser, kan bidra till att tydliggöra skillnad i påverkan från olika källor längs Fyrisån.

Även Uppsala avloppsreningsverk, Kungsängsverket, kan observeras bidra med PFAS baserat på resultaten från detta projekt. I en studie som beräknat massflödet av PFAS inom avloppsreningsverket uppskattas Kungsängsverket kunna bidra med en betydande mängd PFAS till Fyrisån (Gobelius et al., 2023).

Både Arlanda (Märstaån) och Ärna-området (Fyrisån) kan bedömas vara betydande punktkällor av PFAS till nordöstra och östra Mälaren då vattendragen de påverkar, Märstaån och Fyrisån, är de två vattendragen som bidrar med störst mängd PFAS till nordöstra Mälaren som via Skarven når Görväln.

5.5 Okända källor till PFAS till Östra Mälaren

En välkänd källa till PFAS är deponier och avfallsanläggningar som potentiellt kan läcka stora mängder PFAS. För denna massbalans kunde belastningen endast beräknas för tre deponier (Hård af Segerstad, 2023) men det vore mycket värdefullt att få en skattning på belastning från övriga deponier som identifierades av Hård af Segerstad (2023).

Som även lyfts i ovan avsnitt tyder resultaten på att belastning från diffusa utsläpp som tillförs Östra Mälaren via dagvatten kan vara mycket betydande. Detta belyser behovet av att utföra mer grundliga undersökningar av PFAS i dagvatten kring Stockholm för att om möjligt kartlägga var de större läckagen finns och härleda dessa till en utsläppskälla.

5.6 Osäkerheter

Utöver provtagningarna utförda i ytvatten i Östra Mälarens in- och utflöden inom projektet *Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde* under 2022/2023, baseras beräkningarna av PFAS-massflöden på en metodik framtagen i rapporten Ekman och Ejhed (2022), liksom data från studier som fanns tillgängliga vid tidpunkten för det projektet. Det finns stora osäkerheter i metodiken, vilka finns beskrivna utförligt i rapporten Ekman och Ejhed (2022) och där uppmanas att metodiken bör uppdateras i takt med att mer data insamlats av PFAS i de olika matriserna. Exempelvis behövs mer aktuell data för PFAS i brandskum, dagvatten, nederbörd, enskilda avlopp, slam och avfallsanläggningar liksom bättre flödesmätningar i vattendrag och mellan delbassänger i Mälaren.

De beräknade massflödena ska endast ses som indikationer eftersom det förekommer osäkerheter både i de modellerade vattenflödena för ytvatten liksom i analysmetoderna för att analysera PFAS. Då storleken på vattenflödet i de inkluderade ytvattnen varierat mellan 0,0046 m³/s (Räcksta träsk) och 150 m³/s (Fiskarfjärden) ger osäkerheterna störst utslag för de stora vattenflödena vilket illustrerats i standardavvikelsen för massflöden för de fyra provdatumen.

5.7 Fortsatta studier

För fortsatta studier vore det värdefullt att:

- Utföra åtgärder vid konstaterade PFAS-förorenade platser. Sedan många år tillbaks har det nu i flertalet studier, utöver denna, kartlagts och identifierats källor som läcker betydande mängder PFAS till miljön och dricksvattentäkter (exempelvis brandövningsplatser, deponier m.m.). Det finns nu ett mycket stort behov av att det också utförs åtgärder vid dessa platser. Fler projekt behövs som aktivt arbetar med att implementera åtgärder vid kända platser/verksamheter som läcker PFAS.
- Göra en liknande massbalans för hela Mälaren med belastning från hela avrinningsområdet:
 - Göra liknande mätningar (minst 4ggr/år) i in- och utlopp i bassänger även i Västra delen av Mälaren, för att spåra PFAS västerut.
 - Undersöka betydelse av de diffusa källorna och mindre punktkällorna som brandskumsplatser, enskilda avlopp, markanvändning och nederbörds betydelse på en större skala.
- Ta fler prover i Fyrisån i kombination med prover i utloppet till Ekoln för att undersöka nuvarande belastning liksom hur stor andel av utflödet från Ekoln som beror av Fyrisån. Det är då mycket värdefullt att provta månadsvis för att få en så representativ årsbelastning som möjligt.
- I takt med att mer och mer data för PFAS samlas in från olika typer av vatten, vattendrag och platser vore det värdefullt att studera fördelningen mellan olika PFAS från dessa matriser och platser för att studera olika källors "fingerprint", exempelvis med hjälp av PCA (principal component analysis). Detta skulle kunna användas för källspårning och för att identifiera vilken typ av källa som påverkar exempelvis ett ytvatten.
- Analysera PFAS i dagvatten i tätorter för att förbättra dataunderlaget som ligger till grund för uppskattningar av PFAS-belastningen från dagvatten.
- Analysera PFAS i nederbörd vid en mer representativ mätpunkt (exempelvis kring Stockholmsområdet för Östra Mälaren) än den som använts för denna studie. Det har exempelvis observerats att halterna vid Vättern är högre än de som använts i denna studie (Björnsdotter et al., 2022).
- Utredda halten av den ultrakorta PFAS-föreningen Trifluorättiksyra (TFA) i Mälaren. I takt med att långkedjiga PFAS har förbjudits har de ersatts av kortkedjiga PFAS som vi har sämre kännedom om än de som numera regleras (PFOS, PFOA exempelvis). En ultrakort PFAS som har observerats förekomma i höga halter i miljön både globalt (Brunn et al., 2023) men även i Vättern (Björnsdotter et al., 2022) är Trifluorättiksyra (TFA). En liknande studie som den som gjordes i Vättern (Björnsdotter et al., 2022) bör även göras för Mälaren.
- Utredda om sediment kan agera källa eller sänka för de mer långkedjiga PFAS. Fortfarande är det oklart exakt vilken roll sediment spelar i massflödena av PFAS i Mälaren.
- Undersöka möjligheten för förbättrad metodik för beräkning av utlakning av PFAS från förorenad mark från alla de platser där det är känt att brandskum använts.

6. Slutsats

Syftet med projektet har varit att öka kunskapen om PFAS-flöden och källor i Östra Mälaren för att långsiktigt arbeta för att uppströmsåtgärder görs för att minska PFAS-belastningen på en av Sveriges största råvattentäkter. Projektet ger ökad kunskap till arbetet med att prioritera de områden/källor där åtgärder av PFAS borde sättas in för att skydda Östra Mälaren och dricksvattenproduktionen. I projektet har en massbalans för PFAS utförts dels för hela Östra Mälarens Vattenskyddsområde (inkluderar samtliga tre vattenverk: Görväln (Norrvatten), Lovö och Norsborg (SVOA)) dels för delbassängerna Görväln där Görväln och Lovö vattenverk ligger, liksom Rödstensfjärden där Norsborg vattenverk ligger. Slutsatser för vardera delområde presenteras nedan med fokus på massflöde för Σ_4 PFAS. Detta då dessa PFAS regleras med det mest strikta gränsvärdet i dricksvatten och som därmed även eventuellt kräver att ny rening införs vid vattenverken, procentsatserna nedan avser därför Σ_4 PFAS:

Östra Mälaren Vattenskyddsområde

Det är första gången en kartläggning över PFAS-flöden görs för hela Östra Mälaren och dess delbassänger tack var mätningar i in- och utlopp av delbassängerna utförda i detta projekt. Mätningarna möjliggjorde jämförelse av mängd PFAS tillförd inom Mälarens avrinningsområde från västra och nordöstra Mälaren, liksom inom delavrinningsområdena för Östra Mälarens Vattenskyddsområde. Resultaten visar att Västra Mälaren bidrar med största andelen av massflödet av PFAS till Mälaren (54 % av totala massflödet av PFAS vid Mälarens utlopp) vilket främst kan kopplas till den dominerande andelen av vattenflödet (85 %) området bidrar med till Mälaren. Både Östra Mälaren och Nordöstra Mälaren utmärkte sig dock med att bidra med hög andel PFAS till Mälaren (27 % respektive 20 %) i relation till deras betydligt mindre bidrag till vattenflödet (1 % respektive 15 %). För Östra Mälaren kan en stor del av det tillförda massflödet av PFAS till Mälaren härledas till avrinningsområdet för delbassängen Fiskarfjärden, vilken ligger vid Mälarens utlopp och nedströms samtliga vattenverk.

Görväln

Görväln är vattenresurs för Görvälnverket och Lovö vattenverk där Σ_4 PFAS halten pendlar runt det nya gränsvärdet för dricksvatten, vilket medför kostsamma behov av ökad rening i vattenverken om inte råvattenkvaliteten förbättras. Massan av PFAS per år beräknad på alla inflöden av vatten var lika stor som utflödet från Görväln med hänsyn tagen till felmarginaler för beräkningarna. Det innebär att PFAS kommer till Görväln framför allt från närliggande bassängerna i Västra Mälaren (41 % från N. Björkfjärden) och från Nordöstra Mälaren (36 % från Skarven) samt 17 % från Långtarmen. Halten i inflödet från Skarven är mer än dubbelt så hög som halten i inflödet från N. Björkfjärden vilket visar att Nordöstra Mälaren har källor med kraftig förorening av PFAS i området. Belastningen på Görväln av PFAS från nordöstra Mälaren kan spåras hela vägen till betydande spridning via Märstaån, där t.ex. Arlanda har stort bidrag, och Fyrisån, där t.ex. Årnaområdet har stort bidrag. Bidragen av PFAS inom Görvälns vattenförekomstområde från diffusa källor är små (2 %) i förhållande till inflödena från närliggande bassänger. Brobäcken, (spridningsväg till Mälaren nedströms Högbypörp avfallsanläggning), är som enskilt inflöde en betydande PFAS källa till Görväln (ca 3 %). Resultaten visar därmed likt tidigare massbalans, att Görväln främst påverkas av uppströms källor av PFAS, varför det är av stor betydelse att kända PFAS-källor som är mycket förorenade uppströms Görväln åtgärdas.

Rödstensfjärden

Trots att låga halter PFAS återfinns i Rödstensfjärdens inlopp samt vid Norsborg vattenverk (lägre än halterna i Görväln) kan det konstateras att det tillförs en relativt stor mängd PFAS inom Rödstensfjärdens avrinningsområde (17 % av totala utflödet). En betydande andel av inflödet till Rödstensfjärden tillförs från Albysjön (5 %) men övrig mängd har okänt ursprung. Likt slutsatserna kopplat till Fiskarfjärden tros det bero på en hög andel tätbebyggda områden inom avrinningsområdet (framför allt närmare utloppet, nedströms Norsborg) med många mindre/medelstora utsläppspunkter av PFAS (exempelvis deponier, mindre avfallsanläggningar, dagvatten eller andra verksamheter). Detta medför att Rödstensfjärdens i sitt utlopp har ungefär samma halt som den vid Görvälns utlopp och belyser vikten av att åtgärder även görs i Rödstensfjärden, särskilt kopplat till Albysjön och områden nedströms Norsborg.

Summerande slutsatser och kommentarer

Kartläggningen och massbalanserna av PFAS visar att det går att identifiera enstaka inflöden och områden som har relativt stor påverkan på råvattenkvaliteten vid vattenverken Görvåln, Lovö och Norsborg. De är; nordöstra Mälaren med inflöden från Fyrisån och Märstaån, Brobäcken och Albysjön.

Som dricksvattenproducent är uppströmsarbete ett viktigt verktyg för att kartlägga föroreningskällor så att åtgärder föreläggs vid källan, vilket säkrar en god kvalitet på vårt dricksvatten och gör vår dricksvattenproduktion mindre känslig för framtida utmaningar och risker. Exempelvis indikerar resultaten från detta projekt, att om hela tillflödet av massan $\sum_4$ PFAS skulle stoppas från Fyrisån (där t.ex. Årnaområdet har betydande bidrag) och Märstaån (där t.ex. Arlanda har betydande bidrag), skulle i teorin massan av $\sum_4$ PFAS in till Görvåln minska med 30-40 %. Vilket betyder att halten i Görvåln skulle minska från dagens drygt 4 ng/l till ca 2-3 ng/l. Det skulle innebära att gränsvärdet för $\sum_4$ PFAS i dricksvatten skulle klaras – om än baserat på teoretiska uppskattningar

Resultaten i den här rapporten är i linje med tidigare rapport om Görvåln, och resultaten är nu säkrare så att hela belastningen har kunnat beräknas från olika källor på Görvåln tack vare de nya mätdata som tagits fram i det här projektet. Resultaten visar att det även finns många idag okända mindre/medelstora utsläppspunkter som tillsammans bidrar till inflödet av PFAS till Östra Mälarens vattenskyddsområde och vidare ut till Östersjön. Mycket tyder på att en sådan belastning kan härledas till tätt bebodda områden, exempelvis Fiskarfjärdens avrinningsområde och östra delen av Rödstensfjärden. Det belyser behovet av att utföra mer grundliga undersökningar av PFAS i framför allt deponier runt Mälaren, brandövningsplatser och dagvatten kring Stockholm för att kartlägga var de större läckagen finns och härleda dessa till en utsläppskälla. Utöver åtgärder vid de kraftigt förorenade kända områden som beskrivits i den här rapporten så bör fortsatta studier fokusera på att identifiera betydande PFAS-källor i hela Mälaren för att få ett helhetsperspektiv på PFAS-problematiken och för att kunna prioritera åtgärder till de mest betydande källorna.

7. Referenser

- Ahrens, L., Vogel, L., Wiberg, K., 2018. Analysis of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) and phenolic compounds in Swedish rivers over four different seasons - Analys av PFAS och fenolära ämnen i flodmynningar. Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala.
- Baresel, C., Karlsson, L., Malovanyy, A., Thorsén, G., Feldtmann, M.G., Holmquist, H., Dalahmeh, S., Ahrens, L., Pütz, K.W., 2022. PFAS – hur kan -svenska avlopps- reningsverk möta -utmaningen? (No. Nr 2022-7). Svenskt Vatten.
- Bergström, S., 2014. Transport of per- and polyfluoroalkyl substances in soil and groundwater in Uppsala, Sweden - Epsilon's arkiv för studentarbeten. Department of Aquatic Sciences and Assessment, Uppsala.
- Björnsdotter, M.K., 2021. Ultra-short-chain perfluoroalkyl acids: Environmental occurrence, sources and distribution. Örebro Universitet.
- Björnsdotter, M.K., Yeung, L.W.Y., Kärrman, A., Jogsten, I.E., 2022. Mass Balance of Perfluoroalkyl Acids, Including Trifluoroacetic Acid, in a Freshwater Lake. *Environ. Sci. Technol.* 56, 251–259. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04472>
- Brunn, H., Arnold, G., Körner, W., Rippen, G., Steinhäuser, K.G., Valentin, I., 2023. PFAS: forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. *Environ. Sci. Eur.* 35. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>
- Bydén, S., Larsson, A.-M., Olsson, M., 2003. Mäta Vatten - undersökning av sött och salt vatten. Institutionen för miljövetenskap och kulturvård, Göteborg Universitet.
- Cousins, I.T., Johansson, J.H., Salter, M.E., Sha, B., Scheringer, M., 2022. Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environ. Sci. Technol.* 56, 11172–11179. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- Ekman, F., Ejhed, H., 2022. Källor till PFAS, massbalans för Mälaren-Görvåln (NV Rapport No. 2022– 05). Norrvatten, Stockholm.
- Fortifikationsverket, 2023. Anteckningar från dialogmöte FORTV & Norrvatten. Beteckning: 404/2022-15.1.
- Fortifikationsverket, 2022. Skrivelse med bemötande av rapport om massbalans PFAS i Mälaren. Beteckning: 4040/2022-4.1.
- Gago-Ferrero, P., Gros, M., Ahrens, L., Wiberg, K., 2017. Impact of on-site, small and large scale wastewater treatment facilities on levels and fate of pharmaceuticals, personal care products, artificial sweeteners, pesticides, and perfluoroalkyl substances in recipient waters. *Sci. Total Environ.* 601–602, 1289–1297. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.258>
- Gobelius, L., Glimstedt, L., Olsson, J., Wiberg, K., Ahrens, L., 2023. Mass flow of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Swedish municipal wastewater network and wastewater treatment plant. *Chemosphere* 336, 139182. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139182>
- Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., Nordin, A., Schoumacher, C., McNeill, A., 2019. The cost of inaction : A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS. Nordic Council of Ministers.
- Hård af Segerstad, E., 2023. A Toxic Legacy? A Study of PFAS Leakage from Landfills in the Eastern Part of Mälaren. KTH Royal Institute of Technology, Department of Sustainable Development, Stockholm.
- Järfälla kommun, 2023. Järfälla undersöker förekomst av PFAS-ämnen [WWW Document]. [jarfalla.se. URL https://www.jarfalla.se/nyheter/nyheter/artiklar/jarfallaundersokerforekomstavpfasamnen.5.71baeae5186976fef57e8afc.html](https://www.jarfalla.se/nyheter/nyheter/artiklar/jarfallaundersokerforekomstavpfasamnen.5.71baeae5186976fef57e8afc.html) (accessed 11.8.23).
- KEMI, 2023a. PFAS [WWW Document]. URL <https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/pfas> (accessed 7.10.23).
- KEMI, 2023b. Nytt EU-förbud kan stoppa all tillverkning och försäljning av PFAS [WWW Document]. URL <https://www.kemi.se/arkiv/nyhetsarkiv/nyheter/2023-02-07-nytt-eu-forbud-kan-stoppa-all-tillverkning-och-forsaljning-av-pfas> (accessed 7.11.23).
- KEMI, 2021. Kunskapssammanställning om PFAS (No. PM 1/21).
- Kurwadkar, S., Dane, J., Kanel, S.R., Nadagouda, M.N., Cawdrey, R.W., Ambade, B., Struckhoff, G.C., Wilkin, R., 2022. Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A

- critical review of their global occurrence and distribution. *Sci. Total Environ.* 809, 151003.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>
- Länsstyrelsen Stockholm, 2019. PFAS i Stockholm [WWW Document]. URL <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/arcgis/apps/MapSeries/index.html?appid=5c0bd1b677a5400eb09c110e3393d72a> (accessed 4.26.21).
- Livsmedelsverket, 2023. PFAS i dricksvatten och livsmedel - kontroll [WWW Document]. URL <https://www.livsmedelsverket.se/foretagande-regler-kontroll/dricksvattenproduktion/riskhantering-pfas-i-dricksvatten-egenfangad-fisk> (accessed 7.12.23).
- Livsmedelsverket, Lindfeldh, E., Gyllenhammar, I., Strandh, S., Halldin Ankarberg, E., 2021. Kartläggning av per- och polyfluorerade alkylsubstanter (PFAS) i Sveriges kommunala rå- och dricksvatten (No. L-2021 nr 21), Livsmedelsverket rapportserie. Uppsala.
- Mälarens Vattenvårdsförbund, 2023. Mälarens vattenvårdsförbund - kort fakta. URL <https://www.malaren.org/malaren/malaren-och-dess-naromrade/kort-fakta/> (accessed 7.7.23).
- 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 (No. 2021:1, 121, 140). Mälarens vattenvårdsförbund, Vänerns vattenvårdsförbund, Vätternvårdsförbundet.
- Nguyen, M.A., Norström, K., Wiberg, K., Gustavsson, J., Josefsson, S., Ahrens, L., 2022. Seasonal trends of per- and polyfluoroalkyl substances in river water affected by fire training sites and wastewater treatment plants. *Chemosphere* 308, 136467.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136467>
- NIRAS Sweden AB, 2023. PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde, Identifiering av potentiella PFAS-förorenade platser i Ekerö, Järfälla och Stockholms stad.
- Norström, K., Viktor, T., Cousins, A.P., Rahmberg, M., 2015. Risks and Effects of the dispersion of PFAS on Aquatic, Terrestrial and Human populations in the vicinity of International Airports (No. B 2232). IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Nygren, I., Ahrens, L., von Brömssen, C., 2021. Fyrisåns avrinningsområde 2020 (No. 2021:8). Institution för Vatten och Miljö, SLU.
- Olshammar, M., Svanström, S., 2020. Uppdaterad beräkningsmetodik rörande antal fastigheter med små avlopp (No. 19). SMED.
- Pettersson, M., 2023. PFAS ytvattendata, Stockholm Miljöförvaltning.
- Pirard, J., 2021. PFAS data för Bällstaån - Stockholm Miljöförvaltningen, Avdelningen för Miljöanalys.
- Prajapati, P., 2022. Hydrodynamic modelling of Spread of Perfluoroalkyl Octanoic Sulphonate and Perfluoroalkyl Hexanoic Sulphonate in Lake Ekoln (No. Nr 552). Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Uppsala.
- Rosenqvist, L., 2020. Utvärdering av påverkan på grundvatten från platser där släckskum hanterats. SGU, Naturvårdsverket.
- Rosenqvist, L., Vestergren, R., Westberg, E., Eliaeson, K., Norström, K., Liljeberg, M., Strandberg, J., Rahmberg, M., 2017. Spridning av högfluorerade ämnen i mark från Stockholm Arlanda Airport (No. B 2289). IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Sahlberg, J., Gustavsson, H., 2010. HOME Vatten i Mälaren (No. 103), Oceanografi. SMHI.
- SMHI, 2023a. Modelldata per område | SMHI - Vattenwebb [WWW Document]. URL <http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> (accessed 4.17.23).
- SMHI, 2023b. Ladda ner meteorologiska observationer [WWW Document]. SMHI. URL <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=precipitation24HourSum,stations=core> (accessed 6.19.23).
- SMHI, 2023c. Datavärdskap Luft, Halter i nederbörd [WWW Document]. SMHI. URL <https://datavardluft.smhi.se/portal/concentrations-in-precipitation>
- SMHI, 2021. Modelldata per område - vattenwebb [WWW Document]. SMHI.se. URL <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> (accessed 3.15.21).
- Stockholms stad, 2022. Särskilda kostrekommendationer för insjöfisk i Stockholm - Stockholms stad [WWW Document]. URL <https://start.stockholm/aktuellt/nyheter/2022/06/sarskilda-kostrekommendationer-for-insjofisk-i-stockholm/> (accessed 7.12.23).
- Svenskt Vatten, 2022. PFAS - giftet på allas läppar (No. R2022- 01).
- SWECO, 2021. Bilaga 5. PM reviderade övergripande åtgärds mål och spridningsberäkningar. Underlag till svar på remissyttranden, tillståndsansökan för Lövsta KVV.

- Tiberg, E., 2017. Spårning av verksamheter som hanterar/har hanterat perfluorerade och polyfluorerade alkylsyror (PFAS) i Uppsala kommun (No. Dnr: 2012-004626-M1). Uppsala Kommun, Uppsala.
- US EPA, 2023a. Drinking Water Health Advisories for PFOA and PFOS - 2022 Interim Updated PFOA and PFOS Health Advisories [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-health-advisories-pfoa-and-pfos> (accessed 7.12.23).
- US EPA, 2023b. Fact Sheet: Understanding the PFAS National Primary Drinking Water Proposal Hazard Index [WWW Document]. URL https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-03/How%20do%20I%20calculate%20the%20Hazard%20Index._3.14.23.pdf (accessed 7.12.23).
- US EPA, 2023c. Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) - Proposed PFAS National Primary Drinking Water Regulation [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/sdwa/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas> (accessed 7.12.23).
- US EPA, 2022. Drinking Water Health Advisory for PFAS Fact Sheet for Communities [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-06/drinking-water-ha-pfas-factsheet-communities.pdf> (accessed 7.12.23).

8. Appendix

8.1 Dataunderlag

8.1.1 PFAS-data för ytvatten

Tabell 15. Koordinater (SWEREF 99 TM) till provtagningsplatser i ytvatten som används i projektet. Till höger hänvisas till projektet som utfört provtagningarna.

Namn	N	E	Källa
Provplatser inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde			
Skarven	6595711	658124	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
N. Björkfjärden	6590947	647935	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Långtarmen	6577092	658191	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Görvaln	6582755	661529	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Brobäcken	6598189	649783	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
S. Björkfjärden	6573869	651623	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Rödstensfjärden	6575124	663298	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Albysjön	6571423	663769	Fokus på PFAS i Östra Mälarens VSO
Fiskarfjärden	6578300	668208	Stockholm Miljöförvaltning (Pettersson, 2023)
Råcksta träsk	6582828	663419	Stockholm Miljöförvaltning (Pettersson, 2023)
Provplatser använda i tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022)			
Norrström	6580613	674471	(Ahrens et al., 2018; Malnes et al., 2021)
Fyrisån	6630730	649407	(Malnes et al., 2021; Nygren et al., 2021)
Märstaån	6610915	659366	(Länsstyrelsen Stockholm, 2019)
Oxundaån	6606237	661112	(Länsstyrelsen Stockholm, 2019)
Garnsviken	6613894	654851	(Länsstyrelsen Stockholm, 2019)
Örsundaån	6625188	622030	(Malnes et al., 2021)
Lövstaån	6616880	654988	(Malnes et al., 2021)
Ekoln	6626576	646548	(Malnes et al., 2021)
Bällstaån	6583577	668491	Stockholm Miljöförvaltning (Pirard, 2021)

Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde
59 (78)

Tabell 16. Rådata för $\sum_{21}$ PFAS (ng/l) insamlat inom projektet Fokus på PFAS i Östra Mälarens Vattenskyddsområde. *medelvärde mellan halt uppmätt med LOQ = 0,3 ng/l (29 % mätosäkerhet) och LOQ = 0,1 ng/l (mätosäkerhet 39 %). **Analyserat med provpaket med extra låg LOQ (0,1 ng/l) och därmed högre mätosäkerhet, 39 % istället för 29 % som för övriga analyser.

Provplats	Datum	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDaA	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	6:2 FTS	PFDoS	PFNS	PFPeS	PFTrDA	PFTrDS	PFUnDS
Skarven (Stäket) Norrvatten	2022-08-23	2,00	1,40	1,40	0,69	0,98	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,46	1,50	<0,3	2,60	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-01	2,80	2,00	1,70	0,92	*1,45	**0,22	<0,3	<0,3	<0,3	0,67	*2,45	<0,3	*3,75	<0,3	<0,3	<1	<0,3	0,30	<1	<1	<1
	2023-02-07	2,40	1,10	1,20	0,74	0,96	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,49	1,90	<0,3	2,30	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-05-08	3	1,6	2	0,9	1,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,65	2,5	<0,3	3,8	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
N. Björkfjärden (Ormsundet) Norrvatten	2022-08-23	1,20	0,88	1,10	0,60	0,87	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,52	0,64	<0,3	1,30	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-01	1,60	0,97	1,00	0,72	*1,1	**0,24	<0,3	<0,3	<0,3	0,63	*0,75	<0,3	*1,4	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-02-06	1,20	0,97	0,81	0,57	0,84	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,53	0,63	<0,3	1,10	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-05-08	1,8	1,1	1,2	0,76	1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,79	0,7	<0,3	1,4	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
Brobäcken Norrvatten	2022-08-25	67,00	99,00	120,00	36,00	28,00	0,93	<0,3	<0,3	<0,3	79,00	98,00	1,40	30,00	<0,3	7,10	<1	<0,3	31,00	<1	<1	<1
	2022-11-01	160,00	180,00	220,00	61,00	*49	*1,14	0,32	<0,3	<0,3	200,00	*175	2,00	*50,5	<0,3	1,30	<1	<0,3	95,00	<1	<1	<1
	2023-02-08	28,00	44,00	64,00	20,00	18,00	0,63	<0,3	<0,3	<0,3	44,00	62,00	0,93	24,00	<0,3	1,80	<1	<0,3	20,00	<1	<1	<1
	2023-05-10	28	44	58	19	13	0,51	<0,3	<0,3	<0,3	41	68	1	17	<0,3	0,79	<1	<0,3	21	<1	<0,3	<0,3
Långtarmen SVOA	2022-09-15	1,90	1,00	1,20	0,79	1,10	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,70	1,10	<0,3	2,00	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-28	1,70	1,20	1,40	0,91	1,20	**0,27	<0,3	<0,3	<0,3	0,82	1,30	<0,3	2,20	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-02-28	2,20	1,00	1,20	0,53	1,10	**0,25	<0,3	<0,3	<0,3	0,71	1,00	<0,3	1,80	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-06-19	<3	1,30	1,10	0,83	1,10	**0,23	<0,3	<0,3	<0,3	0,63	1,00	<0,3	1,60	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
Görvåln SVOA	2022-09-15	2,10	1,30	1,40	0,85	1,20	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,70	1,10	<0,3	2,10	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-28	1,50	1,10	1,30	0,86	1,30	**0,27	<0,3	<0,3	<0,3	0,84	1,30	<0,3	2,10	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-02-28	1,80	1,40	1,20	0,78	1,10	**0,23	<0,3	<0,3	<0,3	0,67	1,10	<0,3	1,50	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-06-19	2,30	1,20	1,30	0,73	1,20	**0,24	<0,3	<0,3	<0,3	0,65	1,10	<0,3	1,60	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
S. Björkfjärden SVOA	2022-09-15	1,50	1,20	1,10	0,68	0,93	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,59	0,60	<0,3	1,30	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-28	1,80	0,98	1,00	0,71	1,10	**0,28	<0,3	<0,3	<0,3	0,64	0,62	<0,3	1,40	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-02-28	2,10	0,83	0,95	0,66	0,90	**0,25	<0,3	<0,3	<0,3	0,59	0,60	<0,3	1,10	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-06-19	2,10	0,86	1,00	0,70	1,10	**0,27	<0,3	<0,3	<0,3	0,60	0,65	<0,3	1,30	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
Rödstensfjärden SVOA	2022-09-15	1,80	1,40	1,30	0,82	1,10	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,61	0,89	<0,3	1,70	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-11-28	1,80	1,20	1,20	0,89	1,30	**0,24	<0,3	<0,3	<0,3	0,77	1,10	<0,3	1,80	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2023-02-27	1,60	0,78	0,94	0,64	1,10	**0,25	<0,3	<0,3	<0,3	0,63	0,67	<0,3	1,20	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<1	<1
	2022-06-19	2,20	1,30	1,10	0,73	1,10	**0,22	<0,3	<0,3	<0,3	0,79	0,93	<0,3	1,50	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<1	<0,3	<0,3
Albysjön SVOA	2022-11-29	2,20	3,50	3,20	1,80	4,20	**0,37	<0,3	<0,3	<0,3	1,00	5,00	<0,3	5,20	<0,3	0,42	<1	<0,3	0,47	<1	<1	<1
	2023-02-27	2,50	3,80	3,30	1,50	4,20	**0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,79	5,20	<0,3	4,50	<0,3	0,62	<1	<0,3	0,39	<1	<1	<1
	2022-06-19	2,70	4,10	3,80	1,90	4,70	**0,42	<0,3	<0,3	<0,3	1,10	5,60	<0,3	5,80	<0,3	0,84	<1	<0,3	0,51	<1	<0,3	<0,3
	2023-09-04	3,3	4	4,1	2	4,5	0,44	<0,30	<0,30	<0,30	0,92	5,3	<0,30	5,4	<0,30	0,81	<1,0	<0,30	0,39	<1,0	<0,30	<0,30

Tabell 17. $\sum_{29}$ PFAS (ng/l) för Fiskarfjärden erhållen från Stockholm Miljöförvaltning (Pettersson, 2023).

Datum	PFOS	PFOA	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA	PFTeDA	PFBS	PFHxS
2022-04-20	2,23	0,889	2,55	1,75	1,07	0,782	<0.33	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,652	1,25
2022-05-20	2,26	1,02	2,28	1,33	1,24	0,986	<0.33	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,936	1,23
2022-06-16	3,26	0,635	2,13	0,930	1,00	0,931	<0.33	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,712	0,989
2022-07-13	3,18	0,794	2,04	0,970	1,17	1,04	0,217	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,763	1,05
2022-08-16	3,10	1,09	1,22	1,47	1,52	0,865	0,153	<0.03	<0.03	<0.06	<0.03	<0.04	0,571	1,36
2022-09-16	2,15	1,32	3,36	2,17	1,38	0,878	0,35	0,069	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,695	1,21
2022-10-14	2,39	1,23	1,78	1,05	1,45	0,969	0,375	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,680	0,939
2022-11-14	2,20	1,18	1,73	0,948	1,24	0,841	0,339	0,03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,482	1,03
2022-12-22	1,84	0,712	2,93	0,684	0,752	0,354	0,246	0,095	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,367	0,688
2022-12-22	1,85	0,638	2,89	0,927	0,745	0,540	0,235	0,084	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0,413	0,806
2023-01-27	2,16	0,976	1,41	0,698	1,15	0,427	0,220	0,080	<0.03	0,074	0,091	0,181	1,34	1,40
2023-02-20	2,73	1,14	0,808	0,789	1,14	0,893	0,279	0,070	<0.03	<0.03	<0.03	0,231	1,11	1,10
2023-03-15	1,82	1,15	1,31	1,58	1,70	0,946	0,317	0,092	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	1,13	1,06

PFDS	6:2 FTS	8:2 FTS	PFOSA	N- MeFOSA	N- EtFOSA	FOSAA	N- MeFOSAA	N- EtFOSAA	6:2 FTUCA	8:2 FTUCA	10:2 FTUCA	3:3 FTCA	5:3 FTCA	7:3 FTCA
<0.67	<0.33	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7	n.a.	<6.7	<6.7
<0.67	<0.33	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7	n.a.	<6.7	<6.7
<0.67	<0.33	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7	n.a.	<6.7	<6.7
<0.67	<0.33	<0.67	<0.33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	0,127	<0.05
<0.03	0,433	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,384	<0.03		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,040	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,117	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,083	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,079	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	n.a.	<0.05	<0.05
<0.03	0,053	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	<0.05	<0.05
<0.03	0,029	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	<0.05	<0.05
<0.03	0,125	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	<0.05	<0.05

Tabell 18. $\sum_{29}$ PFAS (ng/l) för Råcksta träsk erhållen från Stockholm Miljöförvaltning (Pettersson, 2023).

Datum	PFOS	PFOA	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA	PFTeDA	PFBS	PFHxS
2022-04-19	3,33	2,24	8,41	19,93	12,1	4,52	0,364	0,411	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,11	1,87
2022-04-19	2,82	2,25	8,31	22,24	11,6	4,45	0,500	0,348	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,78	1,39
2022-05-19	2,34	3,05	8,08	23,72	12,50	5,80	0,450	0,531	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,48	1,76
2022-05-19	3,35	3,41	8,88	23,17	12,86	6,36	<0.33	0,449	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,07	1,78
2022-06-15	4,09	1,50	6,06	12,55	7,43	3,29	0,576	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,25	1,54
2022-06-15	4,49	2,20	6,34	12,81	7,40	3,68	0,601	<0.33	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	1,07	1,38
2022-07-12	5,35	1,79	5,37	12,58	8,10	3,05	0,813	0,638	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,656	1,53
2022-07-12	5,53	1,97	5,80	12,84	7,10	2,75	0,910	0,569	<0.67	<0.67	<0.67	<0.67	0,785	1,84
2022-08-18	4,67	2,55	4,07	13,40	7,64	3,88	0,825	0,475	<0.03	0,056	<0.03	<0.03	1,01	1,44
2022-08-18	5,21	2,56	4,31	13,30	7,14	3,75	0,761	0,380	0,116	0,067	<0.03	<0.03	0,919	1,45
2022-09-15	3,37	2,32	4,49	10,02	6,00	2,90	0,678	0,435	0,113	0,177	<0.03	<0.03	0,811	1,32
2022-09-15	4,20	2,67	3,87	12,3	7,09	3,25	0,669	0,464	0,191	0,172	<0.03	0,122	1,01	1,20
2022-10-17	3,40	2,69	16,76	9,50	7,22	3,53	0,695	0,291	0,084	0,071	<0.03	<0.03	1,07	0,859
2022-10-17	3,20	2,73	17,91	9,20	7,12	3,72	0,656	0,436	0,056	0,091	<0.03	0,102	1,06	0,925
2022-11-16	3,27	2,84	9,29	10,22	6,65	3,31	0,614	0,635	0,082	0,095	<0.03	<0.03	0,933	1,07
2022-12-20	2,34	1,36	10,46	11,48	4,25	1,35	0,447	0,229	0,110	0,030	<0.03	<0.03	1,17	0,921
2023-01-25	1,60	3,43	72,9	412	137	38,7	0,289	0,182	<0.03	0,075	<0.03	0,166	0,940	0,784
2023-01-25	1,50	3,67	69,2	400	133	36,5	0,284	0,202	<0.03	0,090	<0.03	0,039	0,892	0,730
2023-02-20	1,92	2,13	5,92	58,5	32,1	14,6	0,178	0,196	<0.03	0,137	<0.03	<0.03	1,02	1,15

Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde
61 (78)

Datum	PFOS	PFOA	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDODA	PFTTrDA	PFTTeDA	PFBS	PFHxS
2023-02-20	2,11	2,42	8,23	55,1	32,5	13,1	0,135	0,265	<0.03	0,153	<0.03	<0.03	1,08	1,21
2023-03-15	3,57	2,57	5,42	20,8	11,1	4,74	0,381	0,198	0,052	0,097	0,033	<0.03	1,57	1,73
2023-03-15	3,22	2,57	5,62	21,1	11,5	4,98	0,445	0,101	0,036	<0.03	<0.03	<0.03	1,41	1,62

PFDS	6:2 FTS	8:2 FTS	PFOSA	N- MeFOSA	N- EtFOSA	FOSAA	N- MeFOSAA	N- EtFOSAA	6:2 FTUCA	8:2 FTUCA	10:2 FTUCA	3:3 FTCA	5:3 FTCA	7:3 FTCA
<0.67	3,77	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67	3,86	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67		<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67		<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67	2,13	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67	2,54	<0.67	<0.33	<6.7	<6.7	<6.7	<3.3	<5.0	<6.7	<6.7	<6.7		<6.7	<6.7
<0.67	1,93	<0.67	<0.33	<0.05	<0.05	<0.05	0,063	0,446	<0.05	<0.05	<0.05		0,386	<0.05
<0.67	3,12	<0.67	<0.33	<0.05	<0.05	<0.05	0,059	0,345	<0.05	<0.05	<0.05		0,284	<0.05
<0.03	4,30	0,099	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0,048	0,375	<0.05	<0.05	<0.05		0,590	<0.05
<0.03	4,99	0,209	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0,069	0,343	<0.05	<0.05	<0.05		0,442	<0.05
<0.03	4,19	0,086		<0.05	<0.05	<0.05	0,048	0,309	<0.05	<0.05	<0.05		0,492	<0.05
<0.03	4,66	0,123		<0.05	<0.05	<0.05	0,069	0,445	<0.05	<0.05	<0.05		0,485	<0.05
0,034	3,55	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0,063	0,332	<0.05	<0.05	<0.05		0,371	<0.05
0,044	3,58	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0,060	0,275	<0.05	<0.05	<0.05		0,335	<0.05
<0.03	3,06	0,034	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0,063	0,296	<0.05	<0.05	<0.05		0,311	<0.05
<0.03	2,01	0,107	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,169	<0.05	<0.05	<0.05		0,274	<0.05
<0.03	2,82	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,202	<0.05
<0.03	3,01	0,034	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,212	<0.05
<0.03	1,63	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,050	<0.05
<0.03	1,53	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,070	<0.05
0,054	-	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,710	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,072	<0.05
0,137	-	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,844	<0.05	<0.05	<0.05	<0.10	0,067	<0.05

8.1.2 Vattenflöde

För samtliga punkter i Mälaren (in- och utflöden) liksom Albysjön har modellerad data använts för att erhålla ett årsmedelvattenflöde. För Brobäcken och Räcksta träsk har egna flödesmätningar utförts.

8.1.2.1 In- och utflöden i Mälaren samt Albysjön & vattenflöden från Ekman och Ejhed (2022)

Tabell 19. Information gällande vattenflöden.

Namn	SUBID	Koord. SWEREFF	Källa
Skarven	-	658294, 6595755	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
N. Björkfjärden, utlopp mot Görväln	-	646474, 6593060	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
N. Björkfjärden, utlopp mot Långtarmen	-	646693, 6590357	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Långtarmen	-	658238, 6577080	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Görväln	-	660813, 6583255	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Brobäcken	-	649902, 6597849	*se 8.1.2.3
S. Björkfjärden	-	652112, 6573557	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Rödstensfjärden	-	663324, 6574513	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Albysjön	-	663771, 6571416	(SMHI, 2023a) - vattenwebb
Fiskarfjärden	-	669395, 6578971	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Räcksta träsk	-	663084, 6582205	*se Fel! Hittar inte referensskälla.
Från tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022)			
Namn	SUBID	Koord. SWEREFF	Källa
Fyrisån	9261	649105, 6630622	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Örundaån	9073	634179, 6624393	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Lövstaån	8983	653805, 6617007	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Märstaån	41047	658792, 6610565	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Oxundaån	8634	661095, 6606037	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Bällstaån	63477	668491, 6583577	(SMHI, 2021) - vattenwebb
Ekoln, utlopp	-	650019, 6612363	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Garnsviken, Utlopp	-	654430, 6612341	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Skarven, utlopp	-	658294, 6595755	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Görväln, utlopp mot fiskarfjärden	-	660813, 6583255	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
N. Björkfjärden, utlopp mot Görväln	-	646586, 6593404	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Långtarmen, utlopp mot Görväln	-	658238, 6577080	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)
Norrström	-	674858, 6580694	(Sahlberg och Gustavsson, 2010)

8.1.2.2 Räcksta träsk

Vattenflöden vid Räcksta träsk mättes ca en gång i månaden mellan mars-augusti 2023. För att beräkna flödet användes apelsinmetoden och rektangulärt överfall i enlighet med rapporten *Mäta Vatten*, s. 23 (Bydén et al., 2003). Nedan sammanställs uppmätt data för de två metoderna. Räcksta träsk är i teorin ett mycket bra ställe att mäta vattenflöde på då det varit kvarnverksamhet tidigare på platsen. Det finns därför en mycket bra stenränna som kan användas för apelsinmetoden vid höga flöden (i princip helt rektangulär ränna, botten är dock mycket ojämn) liksom ett fall som är byggt helt av släta stenar och därav perfekt för flödesberäkning med hjälp av rektangulärt överfall. Dock är flödet mycket lågt generellt vilket gör att det inte går att mäta flödet större delen av året när det inte är snösmältning eller mycket blött av annan anledning. Vid ett tillfälle i mars (snösmältning) var flödet så pass högt att det gick att mäta, dessa data presenteras i Tabell 20. Av de två metoderna bedöms rektangulärt överfall ge det mest representativa resultatet vid Räcksta träsk då underlaget var mycket jämnt, därav är det den mätningen som används för beräkning av massflödet. För resten av datumen har flödet bedömts till 0-1 l/s eller 0-1 dl/s, detta har gjorts genom okulär bedömning av flödet vid fallet, vid andra bron. För att uppskatta flödet även för de datum då flödet inte gick att mäta uppskattas samtliga dessa flöden till hälften av angivna max-volymen från okulärbedömningen. Se sammanställning av samtliga flöden i Tabell 21. För beräkning av massflöde används medelflödet för samtliga mätningar.

Tabell 20. Sammanställning av parametrar uppmätta vid Råcksta träsk för beräkning av vattenflöde vid mätillfället 2023-03-15. För övriga datum var flödet för lågt för att mäta. För mer utförlig beskrivning av metoderna se Mäta Vatten, s. 23 (Bydén et al., 2003).

Datum: 2023-03-15	
Apelsinmetoden (Snöboll användes istället för en apelsin)	
Ungefärlig position (longitud, latitud)	Nedströms andra bron (59.349553, 17.870764)
Sträcka	8 m
Medelbredd, b	0,7 m
Medeldjup, d (botten mycket ojämn)	0,23 m
Area, A (rännan bedöms primärt vara rektangulär varför $A = b \cdot d$)	0,11 m ²
Medeltid (3 mätillfällen, sträcka a-b)	14 s (14,6:14,3:14,5 s)
Medelhastighet, H	0,55 m/s
k	0,5 (mycket ojämn botten, sten och/eller vass och gräs)
Vattenflöde ($A \cdot H \cdot k$)	0,045 m³/s
Rektangulärt överfall	
Ungefärlig position (longitud, latitud)	Andra bron (59.349761, 17.871118)
f	1,77
Bredd, b	0,85 m
Höjd, h	0,065 m
Vattenflöde ($Q = f \cdot b \cdot h^{1.5}$)	0,0249 m³/s

Tabell 21. Sammanställning över uppmätt/beräknat vattenflöde vid Råcksta träsk. *Okulärt bedömt vid ett rektangulärt överfall

Datum	Okulärt bedömt flöde [m ³ /s]	Uppskattat flöde [m ³ /s]
2023-03-02	0-0,001*	0,0005
2023-03-15	Se Tabell 20, Rektangulärt Överfall	0,025
2023-04-21	0-0,001*	0,0005
2023-05-18	0-0,001*	0,0005
2023-06-10	0-0,001*	0,0005
2023-07-13	0-0,001*	0,0005
2023-08-23	0-0,0001*	0,00005
Medel		0,0046

8.1.2.3 Brobäcken

Norrvatten utförde flödesmätningar i Brobäcken vid fyra tillfällen fördelat mellan hösten 2022- och sommaren 2023. Apelsinmetoden användes för att mäta flödet och uppmätta parametrar och beräknat vattenflöde, liksom medelflödet som används för beräkning av massflödet visas i Tabell 22. Utförlig information om Apelsinmetoden finns att hitta i rapporten Mäta Vatten, s. 23 (Bydén et al., 2003).

Tabell 22. Uppmätta parametrar för beräkning av Vattenflöde vid Brobäcken. Rådata finns hos Norrvatten.

Datum	Genomsnittsarea (A)	Medelhastighet ($V_{\max}$)	k	Medel-vattenflöde [m ³ /s]
2022-08-23	0,67	0,19	0,5	0,07
2022-11-01	1,06	0,11	0,5	0,06
2023-02-08	0,65	0,30	0,7	0,14
2023-05-10	0,50	0,31	0,7	0,11
Medel				0,093

8.1.3 Data för Fyrisån

8.1.3.1 Olika mätningar av PFAS i Fyrisån

Nedan presenteras vilka olika PFAS som analyserats i Fyrisån, Flottsund, i olika projekt:

Tabell 23. Antal PFAS som analyserats i Fyrisån. "x" = över detektionsgränsen, "-" = analyserad men under detektionsgränsen. Observera att detektionsgränserna är olika för de olika studierna.

	$\Sigma_{26}\text{PFAS}$	$\Sigma_{14}\text{PFAS}$	$\Sigma_{13}\text{PFAS}$	$\Sigma_{13}\text{PFAS}$	$\Sigma_{10}\text{PFAS}$
Projekt:	1	3	4	5	2
PFBA		-			
PFBS	-	X	X	X	X
PFDA	-	X	-	X	
PFDoDA	-	-	-	-	
PFHpA	-	X	X	X	X
PFHxA	x	X	X	X	X
PFHxS	x	X	X	X	X
PFNA	-	X	-	X	-
PFOA	-	X	X	X	X
PFOS	x	X	X	X	X
PFPeA	-	-	-	-	
PFTeDA		-	-	-	
PFUnDA	-	x	-	-	
FOSA	-	-	-	-	X
6:2 FTS	-				-
PFDS	-				-
PFHxDA	-				
PFOcDA	-				
PFTeDA	-				
PFTriDA	-				
EtFOSA	-				
EtFOSAA	-				
EtFOSE	-				
FOSAA	-				
MeFOSA	-				
MeFOSAA	-				
MeFOSE	-				

¹(Bergström, 2014) - $\Sigma_{26}\text{PFAS}$

²(Nguyen et al., 2022) - $\Sigma_{10}\text{PFAS}$

³(Gago-Ferrero et al., 2017) - $\Sigma_{14}\text{PFAS}$

⁴(Nygren et al., 2021) - $\Sigma_{13}\text{PFAS}$

⁵(Malnes et al., 2021) - $\Sigma_{13}\text{PFAS}$

8.1.3.2 Fyrisåns Vattenvårdsförbund

PFAS koncentrationer på olika platser uppströms Fyrisåns utlopp till Ekoln.

Tabell 24. PFAS-data från Nygren m.fl. (2021)

Stationsnamn	Datum	FOSA	PFBS	PFDA	PFDoDA	PFHpA	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFOA	PFOS	PFPeA	PFTeDA	PFUnDA
Blank		<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
Fyrisån Vattholma	2020-06-14	3,1	96	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
Fyrisån direkt uppströms Ärna	2020-06-15	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	<0.072	7,9	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	8	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	4,3	<0.1	<2.3	9,6	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	1,9	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	3,8	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	<0.076	<0.042	<0.052	<0.48	<0.43	<0.13	<0.73
Fyrisån direkt nedströms Ärna	2020-06-15	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	16	41	<0.042	6,1	11	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	<0.072	13	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	80	<0.042	17	37	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	8,2	51	<0.042	8,7	15	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	12	8,8	<2.3	<0.52	6,5	50	6,6	7,4	24	<0.43	<0.13	10
Fyrisån direkt uppströms reningsverket	2020-06-15	<0.072	7,8	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	21	<0.042	6	16	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	<0.072	11	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	51	<0.042	15	23	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	7,50	<0.1	<2.3	<0.52	8,10	56	<0.042	11	15	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	11	<0.057	16	3,7	11	9,1	<0.43	<0.13	<0.73
Fyrisån direkt nedströms reningsverket	2020-06-15	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	9,4	13	32	<0.042	7,5	9,6	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	0,98	<0.039	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	37	11	27	19	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	9,2	<0.057	73	2,5	13	24	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	<0.039	<0.1	<2.3	8,2	<0.057	19	3,6	13	11	<0.43	<0.13	<0.73
Fyrisån Flottsund	2020-06-11	<0.072	4,9	<0.1	<2.3	11	9,6	20	<0.042	9,4	22	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	<0.072	9,6	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	14	<0.042	9,3	15	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	6,7	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	24	<0.042	12	16	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	8,9	<0.1	<2.3	<0.52	8,1	18	<0.042	8,5	17	<0.43	<0.13	<0.73
Sävjaån Kuggebro	2020-06-11	2,4	3,9	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	8,8	<0.042	7,8	6,1	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-07-13	<0.072	20	<0.1	<2.3	<0.52	<0.057	12	<0.042	12	7,4	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-08-17	<0.072	4,6	<0.1	<2.3	<0.52	7,8	16	<0.042	7,3	7,9	<0.43	<0.13	<0.73
	2020-09-14	<0.072	4,5	<0.1	<2.3	<0.52	7	15	2,4	12	7,7	<0.43	<0.13	<0.73

Koordinater för PFAS-mätningar.

Tabell 25. Koordinater i SWEREFF 99 för provplatserna i Nygren m.fl. (2021)

För platsen:	N	E
Vattholma N. bron	6656749	652199
Uppströms Ärna	6644543	644023
Nedströms Ärna	6640534	645818
Uppströms KV	6637001	648700
Nedströms KV	6636790	648849
Sävja, Kugge bro	6635687	650911
Fyrisån, Flottsund	6630679	649288

8.1.3.3 Positioner och flödesdata för Fyrisån

För massflödena som beräknades för Fyrisån användes SMHI:s modellerade flöden (SMHI, 2023a), tagna från punkter så nära Fyrisåns VVF:s provtagningsplatser (av PFAS) som möjligt. Flödena som användes var "Total Stationskorrigerad vattenföring", och koordinater och SUBID för dessa platser presenteras i Tabell 26.

Tabell 26. Koordinater och SUBID (SMHI, 2023a) för de platser som vattenföringen är hämtad för Fyrisån och Sävjaån.

För platsen:	N	E	SUBID
Vattholma N. bron	6656679	652180	9792
Uppströms Ärna	6644541	643990	9528
Nedströms Ärna/ Uppströms KV	6638191	647926	9422
Nedströms KV	6635329	649380	9364
Sävja, Kugge bro	6635466	651599	9312
Fyrisån, Flottsund	6630622	649105	9261

8.1.4 Nederbördsdata

Tabell 27. Data över PFAS i nederbörd från SMHI (SMHI, 2023c). Det framgår inte i det nedladdade datasetet från SMHI vad LOQ är varför det inte heller framgår här.

Start	Slut	6:2 FTS	PFBA	PFBS	PFDA	PFDS	PFHpA	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFOA	PFOS	PFOSA	PFPeA	PFUnDA
2017-12-29	2018-01-30	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,215	0,05	0,05	0,072	0,242	0,09	0,286	0,06
2018-01-30	2018-02-27	0,3	0,5	0,05	0,15	0,05	0,05	0,234	0,0882	0,05	0,408	0,14	0,09	0,287	0,06
2018-02-27	2018-03-27	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,141	0,0729	0,05	0,05	0,088	0,144	0,09	0,2	0,06
2018-03-27	2018-05-02	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,908	0,384	0,05	0,111	0,367	0,05	0,09	0,2	0,06
2018-05-02	2018-05-29	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,628	0,511	0,05	0,05	0,262	0,317	0,09	0,2	0,06
2018-05-29	2018-07-03	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,432	0,143	0,05	0,072	0,455	0,05	0,09	0,341	0,06
2018-07-03	2018-07-31	0,3	0,5	0,05	0,1	0,45	0,258	0,0908	0,05	0,05	0,0642	0,05	0,09	0,2	0,06
2018-07-31	2018-08-28	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,353	0,294	0,05	0,05	0,241	0,05	0,09	0,2	0,06
2018-08-28	2018-10-02	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,121	0,11	0,05	0,05	0,163	0,05	0,09	0,2	0,06
2018-10-02	2018-10-30	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,477	0,271	0,05	0,49	0,182	0,09	0,2	0,06
2018-10-30	2018-11-27	1,42	0,5	0,325	0,1	0,103	0,183	0,05	0,214	0,05	0,405	0,495	0,09	0,623	0,06
2018-11-27	2019-01-04	0,3	0,5	0,0654	0,1	0,05	0,121	0,05	0,232	0,05	0,177	0,137	0,09	0,736	0,06
2019-01-04	2019-01-29	0,255	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-01-29	2019-02-26	0,185	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-02-26	2019-04-02	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-04-02	2019-04-30	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-04-30	2019-05-28	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,524	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-05-28	2019-07-02	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,557	0,2	0,09	0,392	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-07-02	2019-07-30	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-07-30	2019-09-10	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-09-10	2019-10-01	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-10-01	2019-10-29	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-10-29	2019-11-26	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,12	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-11-26	2019-12-30	0,1	0,4	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,09	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
2019-12-30	2020-02-04	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,05	0,1	0,045	0,1	0,28	0,216	0,05	0,1	0,05
2020-02-04	2020-03-03	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,05	0,263	0,045	0,1	0,217	0,05	0,05	0,1	0,05

Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde
68 (78)

Start	Slut	6:2 FTS	PFBA	PFBS	PFDA	PFDS	PFHpA	PFHxA	PFHxS	PFNA	PFOA	PFOS	PFOSA	PFPeA	PFUnDA
2020-03-03	2020-03-31	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,209	0,388	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-03-31	2020-04-28	0,05	0,2	0,109	0,118	0,025	0,685	0,841	0,045	0,583	0,613	0,201	0,05	0,1	0,05
2020-04-28	2020-06-02	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,351	0,504	0,045	0,1	0,289	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-06-02	2020-06-30	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,254	0,826	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,809	0,05
2020-06-30	2020-08-04	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,262	0,639	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-08-04	2020-09-04	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,163	1,39	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-09-04	2020-09-29	0,05	0,2	0,114	0,025	0,025	0,344	1	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-09-29	2020-11-03	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,05	0,306	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-11-03	2020-12-01	0,05	0,2	0,123	0,025	0,025	0,05	0,96	0,045	0,1	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
2020-12-01	2020-12-29	0,05	0,2	0,025	0,025	0,025	0,05	0,1	0,045	0,1	0,162	0,05	0,05	0,308	0,05
2021-01-05	2021-02-02	0,035	0,25	0,03	0,03	0,025	0,151	0,03	0,035	0,064	0,14	0,076	0,025	0,59	0,025
2021-02-02	2021-03-02	0,284	0,25	0,082	0,03	0,025	0,164	0,199	0,035	0,236	0,407	0,054	0,025	0,1	0,025
2021-03-02	2021-03-30	0,227	0,25	0,03	0,03	0,025	0,676	0,895	0,035	0,321	0,828	0,025	0,025	0,1	0,025
2021-03-30	2021-05-04	0,035	0,25	0,105	0,03	0,025	0,609	0,528	0,035	0,354	0,195	0,063	0,025	0,1	0,025
2021-05-04	2021-06-01	0,035	0,25	0,03	0,03	0,025	0,738	0,433	0,035	0,149	0,313	0,138	0,025	0,394	0,025
2021-06-01	2021-06-29	0,035	0,25	0,03	0,03	0,025	0,89	0,974	0,035	0,439	0,617	0,025	0,025	0,1	0,025
2021-06-29	2021-08-03	0,118	0,25	0,03	0,03	0,025	0,75	0,88	0,035	0,218	0,035	0,025	0,025	0,1	0,025
2021-08-03	2021-08-31	0,035	0,25	0,03	0,111	0,025	0,422	0,368	0,035	0,096	0,237	0,025	0,025	0,357	0,025
2021-08-31	2021-09-28	0,273	0,25	0,03	0,03	0,025	0,513	0,201	0,035	0,137	0,285	0,215	0,025	0,1	0,025
2021-09-28	2021-11-02	0,212	0,25	0,066	0,03	0,025	0,446	0,57	0,035	0,129	0,113	0,069	0,025	0,1	0,025
2021-11-02	2021-11-30	0,31	0,25	0,03	0,03	0,025	0,125	0,223	0,035	0,025	0,035	0,025	0,025	0,1	0,025

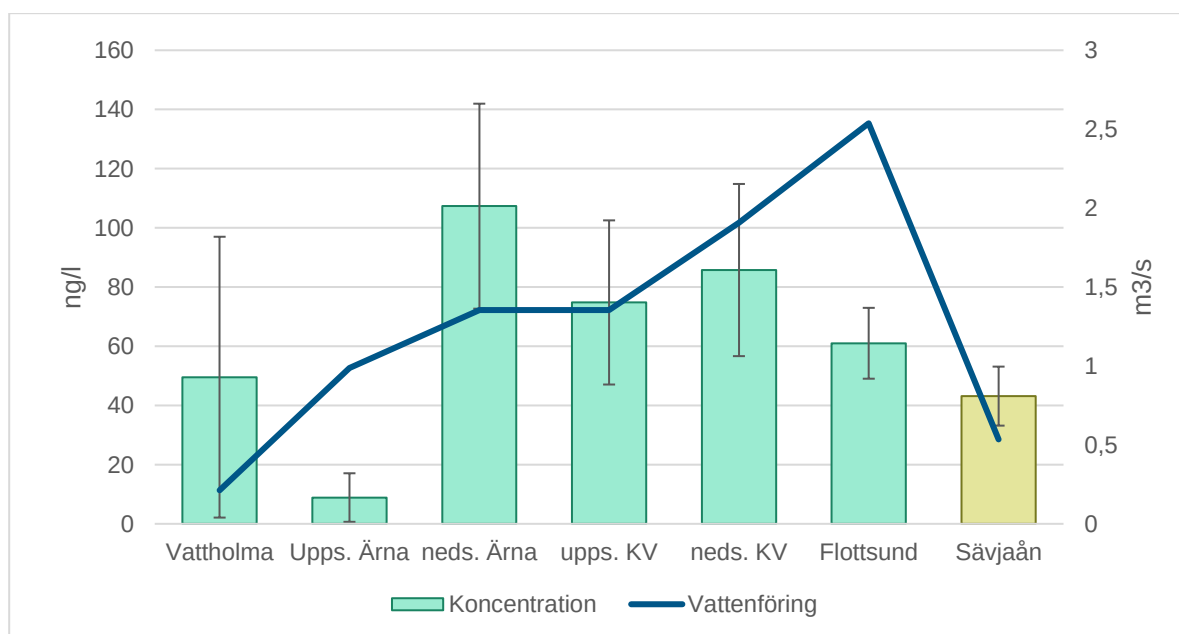
8.2 Metodik massflöden i Fyrisån

8.2.1 Mätningar i Fyrisån

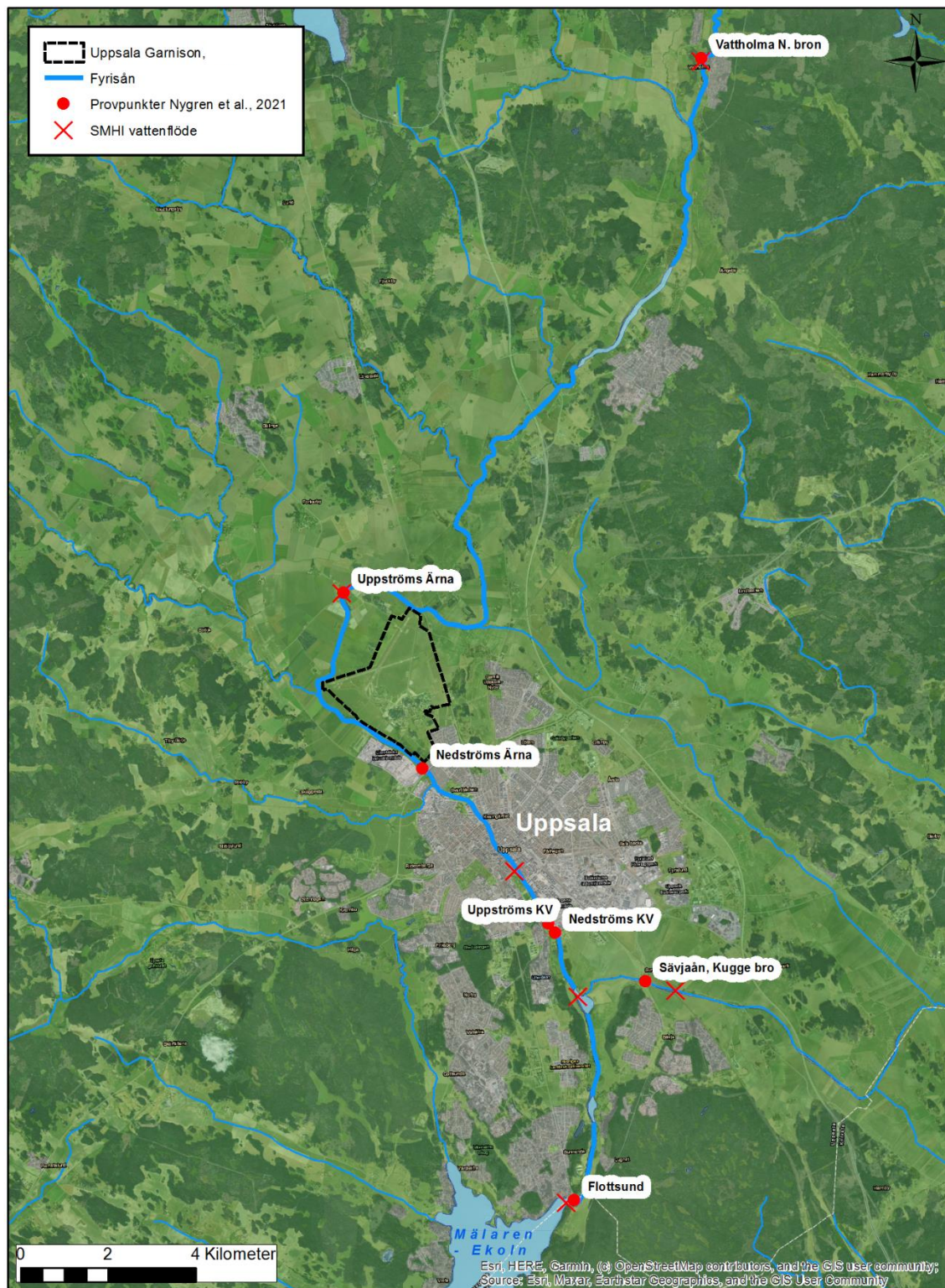
I kommande avsnitt refererar Ärna/Ärnaområdet till hela tillrinningsområdet mellan provpunkten "uppströms Ärna" och "nedströms Ärna". För benämning av specifikt försvarsmaktens flygplats-område (inom Ärnaområdet) används Uppsala Garnisons område. Förkortningen KV refererar till Uppsala avloppsreningsverk Kungsängsverket.

Syftet med provtagningen som Nygren et al. (2021) utförde, vilkens data använts för beräkning av massflöde i Fyrisån i denna rapport, var att undersöka potentiella källor till PFAS till Fyrisån, detta genom att analysera PFAS uppströms och nedströms Uppsala Garnisons område, liksom uppströms och nedströms KV (Uppsala avloppsreningsverk Kungsängsverket). En referenspunkt analyserades även som ligger uppströms Ärna (mätpunkt vid Vattholma) liksom en i ett tillrinnande vattendrag till Fyrisån (Sävjaån) som rinner in mellan punkten nedströms KV och Flottsund (Fyrisåns utlopp). PFAS analyserades under fyra månader, juni-september under 2020 (ett prov i månaden förutom för provpunkten Vattholma där enbart prover i juni och september togs).

I Figur 21 visas medelkoncentration av Σ_{13} PFAS (se Tabell 23 i Appendix 8.1.3.1 gällande vilka PFAS detta inkluderar) och medelvattenflöde i punkterna som analyserades i Nygren et al. (2021). Observera att några punkter där SMHI har beräknat vattenflöde inte ligger exakt vid samma punkt där PFAS-analysen utförts. Punkterna där PFAS har analyserats liksom punkterna där vattenflöden hämtats från SMHI (SMHI, 2023a) visas i Figur 22. Samtliga data och koordinater finns presenterade i sin helhet under 8.1.3 i Appendix.



Figur 21. Medelhalter av Σ_{13} PFAS vid analyserade punkter för perioden juni-september 2020. Samtliga gröna staplar ligger längs med Fyrisån, med punkten mest uppströms åt vänster och Fyrisåns utlopp längst till höger. Den gula stapeln (Sävjaån) är ett tillflöde till Fyrisån som rinner in mellan punkten neds. KV och Flottsund. Blåa linjen motsvarar medelvattenflöde under hela perioden för respektive punkt. Svarta linjer anger standardavvikelsen på analyserade koncentrationer för de fyra månaderna.



Frida Ekman Datum: 2023-04-14

Figur 22. Karta över punkter som analyserats för PFAS (röda prickar) och punkter som används för att uppskatta vattenflödet i PFAS-punkterna (Röda kryss). Observera att samma vattenflöde har använts för punkterna nedströms Årna liksom uppströms KV – punkten för det vattenflödet markeras med röda krysset som ligger mellan de båda punkterna (neds. Åran och Upps. KV).

8.2.2 Jämförelse av uppmätta PFAS-halter olika år i Fyrisån

Av Fortifikationsverket inkomna data över PFAS i Fyrisån framgår att halterna uppmätta 2020 (Nygren et al., 2021) visade på ovanligt höga halter PFAS jämfört med tidigare studier av Fyrisån (Fortifikationsverket, 2022).

Nedan presenteras olika projekt som har uppmätt PFAS i Fyrisåns utlopp olika år. Samtliga projekt har analyserat PFAS i en punkt nedströms tillflödet från Sävjaån, endast Norström et al. (2015) har analyserat PFAS vid Vindbron som ligger precis uppströms tillflödet från Sävjaån. Det framgår att halterna som uppmättes 2020 juni-sep (Nygren et al., 2021) i medel är högre än data från andra år. Nygren mfl. analyserade dock PFAS endast under sommaren då flödet oftast är lägre vilket leder till högre halter (då flödet från KV då dominerar, (Ekman och Ejhed, 2022)). Jämförs data med studier som också tagit prover under sommaren så är halterna i samma storleksordning, se Tabell 28. Detta skulle kunna indikera att halterna inte är ovanliga för sommarsäsonger i Fyrisån men blir missvisande för andra perioder under året. Trots att antalet olika PFAS som analyserats är något olika mellan de olika studierna (se Tabell 23 i Appendix 8.1.3.1) är de detekterade PFAS de samma för de två studierna förutom att det i Nguyen et al. (2022) även detekterades FOSA.

Tabell 28. Sammanställning över PFAS-halter (ng/l) vid Fyrisåns utlopp. Observera att antalet PFAS som analyserats varierar vilket är markerat längst till höger i tabellen. Vilka PFAS som ingår i summorna finns sammanställt i Tabell 23 under Appendix.

KÄLLA	PERIOD	ANTAL PROVER	INTERVALL	PFOS			Σ_4 PFAS			Σ PFAS			
				medel	min	max	medel	min	max	medel	min	max	
¹	2014 maj	1		5,1			11			11			*26
²	2013/2014,	14	1 månad	11	3,1	26	23	6,6	49	27	7,7	56	*10
³	2014/2015	4	3:e månad	5,4	2,3	7,5	14	5,7	18	18	8,1	24	*14
⁴	2020 juni-sep	4	1 månad	18	15	22	46	38	52	61	48	77	*13
⁵	2019 nov, 2020 apr	2	5: månad	2,4	1,6	3,1	6,3	5,6	7,0	11	9,7	12	*13

KÄLLA	PERIOD	ANTAL PROVER	INTERVALL	PFOS			Σ_4 PFAS			Σ PFAS			
				medel	min	max	medel	min	max	medel	min	max	
²	2014, juni - sep	4	1 månad	17	8	26	36	17	49	42	22	56	*10
³	jun-15	1		7,5			18			24			*14
⁴	2020, juni-sep	4	1 månad	18	15	22	46	38	52	61	48	77	*13

¹(Bergström, 2014), ²(Nguyen et al., 2022), ³(Gago-Ferrero et al., 2017), ⁴(Nygren et al., 2021), ⁵(Malnes et al., 2021)

Då vattenflödet har stor inverkan på koncentrationerna jämfördes även dessa för perioden juni-sep 2014 (Nguyen et al., 2022) samt juni-sep 2020 (Nygren et al., 2021). Det kan då konstateras att vattenflödena är i samma storleksordning, men med något större variation under 2013, se Tabell 29.

Tabell 29. Månadsmedelflöde under juni-september för år 2014 respektive 2020. Data är hämtad från SMHI vattenwebb för SUBID 9261 för Flottsund, och SUBID 9364 för Vindbron (SMHI, 2023a). Vindbron ligger uppströms Flottsund och precis uppströms tillflödet från Sävjaån, men nedström KV.

Månadsmedelflöde	2013	2020
Plats i Fyrisån	Flottsund	Flottsund
2020-06	5,8	3,5
2020-07	2,0	3,4
2020-08	1,6	1,6
2020-09	1,4	1,6
Medelflöde	2,7	2,5
Standardavvikelse	2,1	1,1

8.2.3 Beräkning av massflöde från Fyrisån

Metodiken för att beräkna ett massflöde av PFAS från Fyrisån har uppdaterats sedan rapporten Ekman & Ejhed (2022). Data används från, Nygren m.fl. (2021) för Flottsund, se Tabell 24, liksom från (Malnes et al., 2021) se avsnitt 7.1.9 i Ekman & Ejhed (2022). Det nya massflödet vid Fyrisåns utlopp baseras på månadsmedelbelastning för de sex månaderna som undersöktes i de två studierna.

Tabell 30. Beräkning av massflöde från Fyrisåns utlopp vid Flottsund. ¹(Malnes et al., 2021), ²(Nygren m.fl., 2021)

År	Månad	Källa	$\Sigma_{13}\text{PFAS}$	[ng/l] $\Sigma_4\text{PFAS}$	PFOS	[m ³ /s] Månads- medelflöde	$\Sigma_{13}\text{PFAS}$	[kg/månad] $\Sigma_4\text{PFAS}$	PFOS
2019	okt	¹	0,20	0,09	0,03	0,20	0,09	0,03	0,20
2020	april	¹	0,18	0,13	0,06	0,18	0,13	0,06	0,18
2020	jun	²	0,70	0,47	0,20	0,70	0,47	0,20	0,70
2020	jul	²	0,42	0,34	0,13	0,42	0,34	0,13	0,42
2020	aug	²	0,24	0,21	0,07	0,24	0,21	0,07	0,24
2020	sep	²	0,26	0,18	0,07	0,26	0,18	0,07	0,26
Månadsmedel [kg/månad]							0,33	0,24	0,09
Årsbelastning baserat på månadsmedel [kg/år]							4,0	2,9	1,1

8.3 Resultat massflöden enskilda källor: Östra Mälarens VSO

8.3.1 Nederbörd

I Tabell 31 visas beräknat massflöde för PFAS från nederbörd till vattenytan i Östra Mälarens VSO. Beräkningarna baseras på årsmedelnederbörd (20 år fram till och med 2020) liksom PFAS-koncentrationer för nederbörd mellan 2017-2023. Beräkningarna representerar alltså en årsmedelbelastning.

Tabell 31. Massflöde av PFAS från nederbörd till Östra Mälarens VSO vattenyta. Antal PFAS i $\Sigma_{14}\text{PFAS}$ framgår från Tabell 27 i Appendix.

[kg/år]	Medel	Median	Min	Max
$\Sigma_{14}\text{PFAS}$	0,13	0,12	0,07	0,27
$\Sigma_9\text{PFAS}$	0,11	0,10	0,05	0,20
$\Sigma_4\text{PFAS}$	0,03	0,03	0,01	0,09
PFOS	0,01	0,005	0,001	0,03

För resonemang kring osäkerheter se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.2 Markanvändning

Baserat på den förenklade metodiken att belastningen från landområden enbart beror av skillnad i area i jämförelse med VARO Görväln (d.v.s. vi antar att fördelningen mellan olika markanvändningar samt avrinning från områden är den samma i hela Östra Mälarens VSO) beräknas belastningen från markanvändning inom Östra Mälarens VSO till 1,9 ggr högre än den inom VARO Görväln. Detta motsvarar en belastning på ca 25, 130 samt 250 g/år av PFOS, Σ_4 PFAS respektive Σ_{10} PFAS.

För resonemang kring osäkerheter se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.3 Brandskumsplatser

Av de 485 platser där brandskum tidigare använts inom Östra Mälarens VSO (Rosenqvist, 2020) har belastningen beräknats till ca 0,18 kg/år för Σ_8 PFAS, 0,17 kg/år för Σ_4 PFAS samt 0,1 kg/år för PFOS, se Tabell 32. Beräkning baseras på en grov förenkling om att 3 % av total tillförd mängd PFAS på en plats lakas ut varje år. Det kan även konstateras att brandskum som använts innan 2011 står för ca 99 % av den totala mängd tillförda PFAS från brandskum. Σ_8 PFAS innehåller samma PFAS som Σ_{11} PFAS men utan PFBS, PFPeA och PFDA (av dessa detekteras PFBS och PFPeA i Mälaren).

Tabell 32. Beräknad belastning från brandskumsplatser inom Östra Mälarens VSO. Procentsatsen visar att ca 50 % av mängd PFAS som tillförts platserna i form av brandskum, redan lakats ut.

	Σ_8 PFAS	Σ_4 PFAS	PFOS
Total mängd tillförd platserna [kg]	6,1	5,8	3,5
Total mängd utlakat [kg]	3,0 (50 %)	2,9 (50 %)	1,8 (50 %)
Belastning [kg/år]	0,18	0,17	0,11

För resonemang kring osäkerheter kring resultaten, se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.4 Enskilda avlopp

Beräknad belastning från enskilda avlopp inom Östra Mälarens VSO presenteras nedan i Tabell 33. För resonemang kring osäkerheter kring resultaten, se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

Tabell 33. Belastning från enskilda avlopp inom Östra Mälarens VSO, då koncentrationerna

Σ_{11} PFAS [kg/år]			Σ_4 PFAS [kg/år]			PFOS [kg/år]		
Medel	min	max	Medel	min	max	Medel	min	max
0,044	0,043	0,045	0,037	0,034	0,040	0,016	0,014	0,018

Resultat massflöden enskilda källor: Rödstensfjärden

8.3.5 Nederbörd

I Tabell 34 visas beräknat massflöde för PFAS från nederbörd till vattenytan i Rödstensfjärden. Beräkningarna baseras på årsmedelnederbörd (20 år fram till och med 2020) liksom PFAS-koncentrationer för nederbörd mellan 2017-2023. Beräkningarna representerar alltså en årsmedelbelastning.

Tabell 34. Massflöde av PFAS från nederbörd till Rödstensfjärdens vattenyta. Antal PFAS i Σ_{14} PFAS framgår från Tabell 27 i Appendix.

[kg/år]	Medel	Median	Min	Max
Σ_{14} PFAS	0,013	0,012	0,007	0,027
Σ_9 PFAS	0,011	0,010	0,005	0,020
Σ_4 PFAS	0,0031	0,0029	0,0007	0,0085
PFOS	0,0006	0,0004	0,0001	0,0029

För resonemang kring osäkerheter se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.6 Markanvändning

Baserat på den förenklade metodiken att belastningen från landområden enbart beror av skillnad i area i jämförelse med VARO Görväln (d.v.s. vi antar att fördelningen mellan olika markanvändningar samt avrinning från områden är den samma i hela Östra Mälarens VSO) beräknas medelbelastningen från markanvändning inom Rödstensfjärden till ca 21 % av landarealen inom VARO Görväln. Detta motsvarar en belastning på ca 0,028, 0,014 samt 0,0027 kg/år av $\sum_{10}$ PFAS, $\sum_4$ PFAS respektive PFOS.

För resonemang kring osäkerheter se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.7 Brandskum

Av de 103 platser där brandskum tidigare använts inom VARO Rödstensfjärden (Rosenqvist, 2020) har belastningen beräknats till ca 60 g/år för $\sum_8$ PFAS, 55 g/år för $\sum_4$ PFAS samt 30 g/år för PFOS, Tabell 35. Beräkning baseras på en grov förenkling om att 3 % av total tillförd mängd PFAS på en plats lakas ut varje år. Det kan även konstateras att brandskum som använts innan 2011 står för ca 99 % av den totala mängd tillförda PFAS från brandskum. $\sum_8$ PFAS innehåller samma PFAS som $\sum_{11}$ PFAS men utan PFBS, PFPeA och PFDA (av dessa detekteras PFBS och PFPeA i Mälaren).

Tabell 35. Beräknad belastning från brandskumsplatser inom VARO Rödstensfjärden. Procentsatsen visar att ca 50 % av mängd PFAS som tillförts platserna i form av brandskum, redan lakats ut.

	$\sum_8$ PFAS	$\sum_4$ PFAS	PFOS
Total mängd tillförd platserna [kg]	1,9	1,8	1,1
Total mängd utlakat [kg]	0,92 (48 %)	0,88 (48 %)	0,54 (48 %)
Belastning [kg/år]	0,058	0,055	0,033

För resonemang kring osäkerheter kring resultaten, se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

8.3.8 Enskilda avlopp

Beräknad belastning från enskilda avlopp inom Östra Mälarens VSO presenteras nedan i Tabell 36.

Tabell 36. Belastning av PFAS från enskilda avlopp inom VARO Rödstensfjärden.

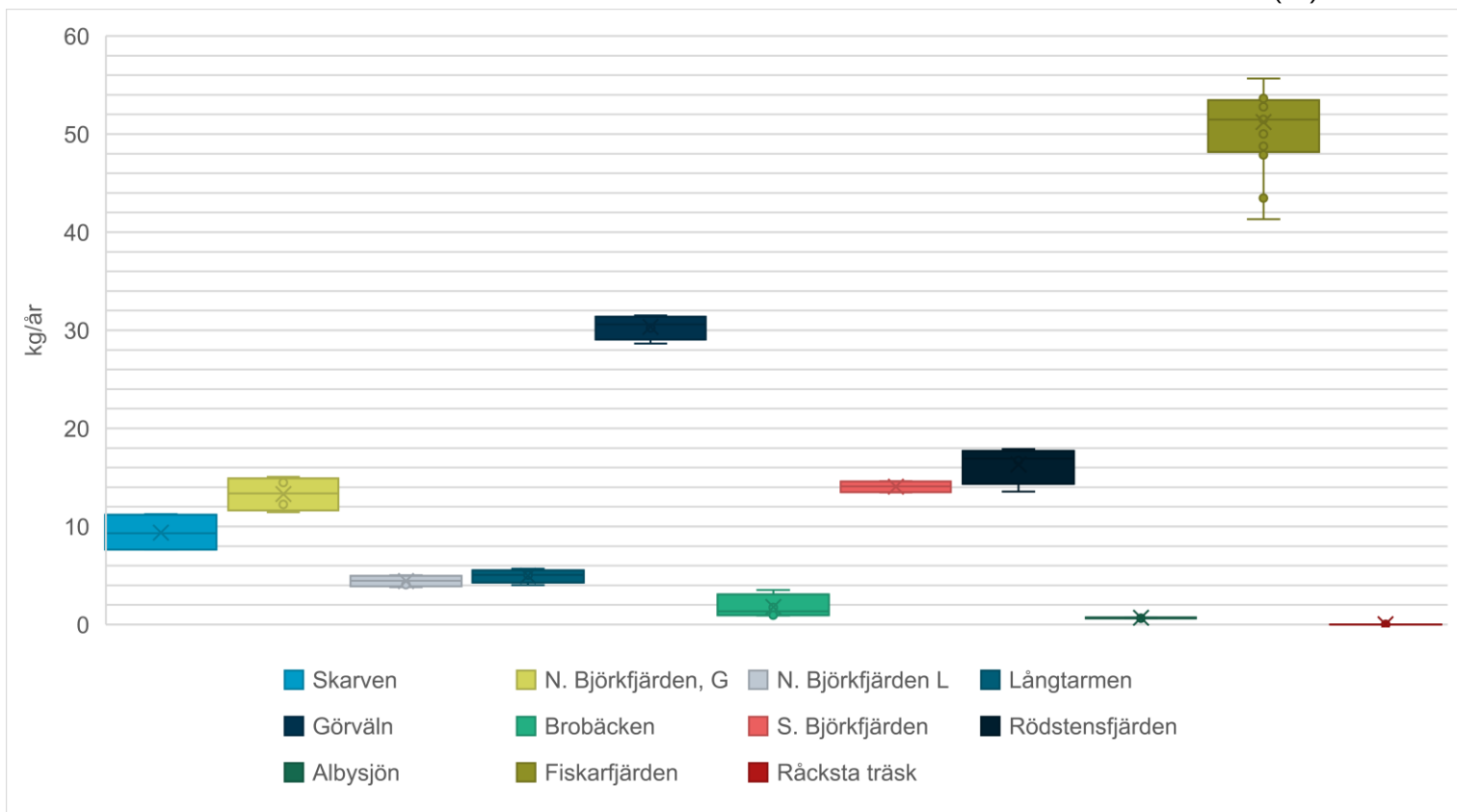
$\sum_{11}$ PFAS [kg/år]			$\sum_4$ PFAS [kg/år]			PFOS [kg/år]		
Medel/median	min	max	Medel/median	min	max	Medel/median	min	max
0,044	0,0068	0,0067	0,0070	0,0057	0,0052	0,0062	0,0025	0,0022

För resonemang kring osäkerheter kring resultaten, se motsvarande avsnitt i Ekman & Ejhed (2022).

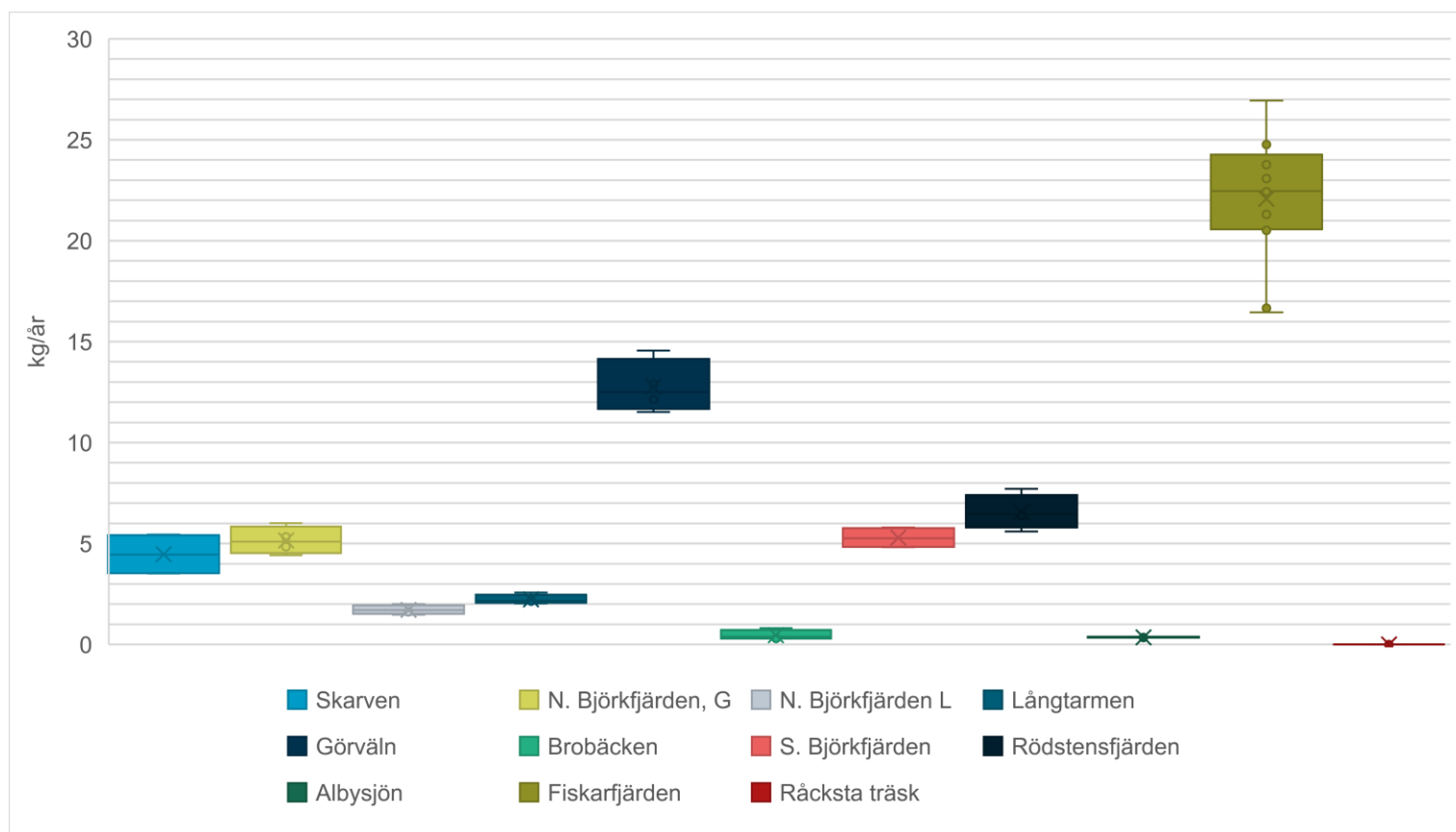
8.4 Resultat massflöden från ytvatten

Spridning i massflöden beroende på koncentration presenterade för de olika ytvatten som analyserats inom Fokus på PFAS i Östra Mälaren Vattenskyddsområde (Figur 23, Figur 24, Figur 25) liksom i tidigare massbalansen Ekman & Ejhed (2022) (Tabell 37).

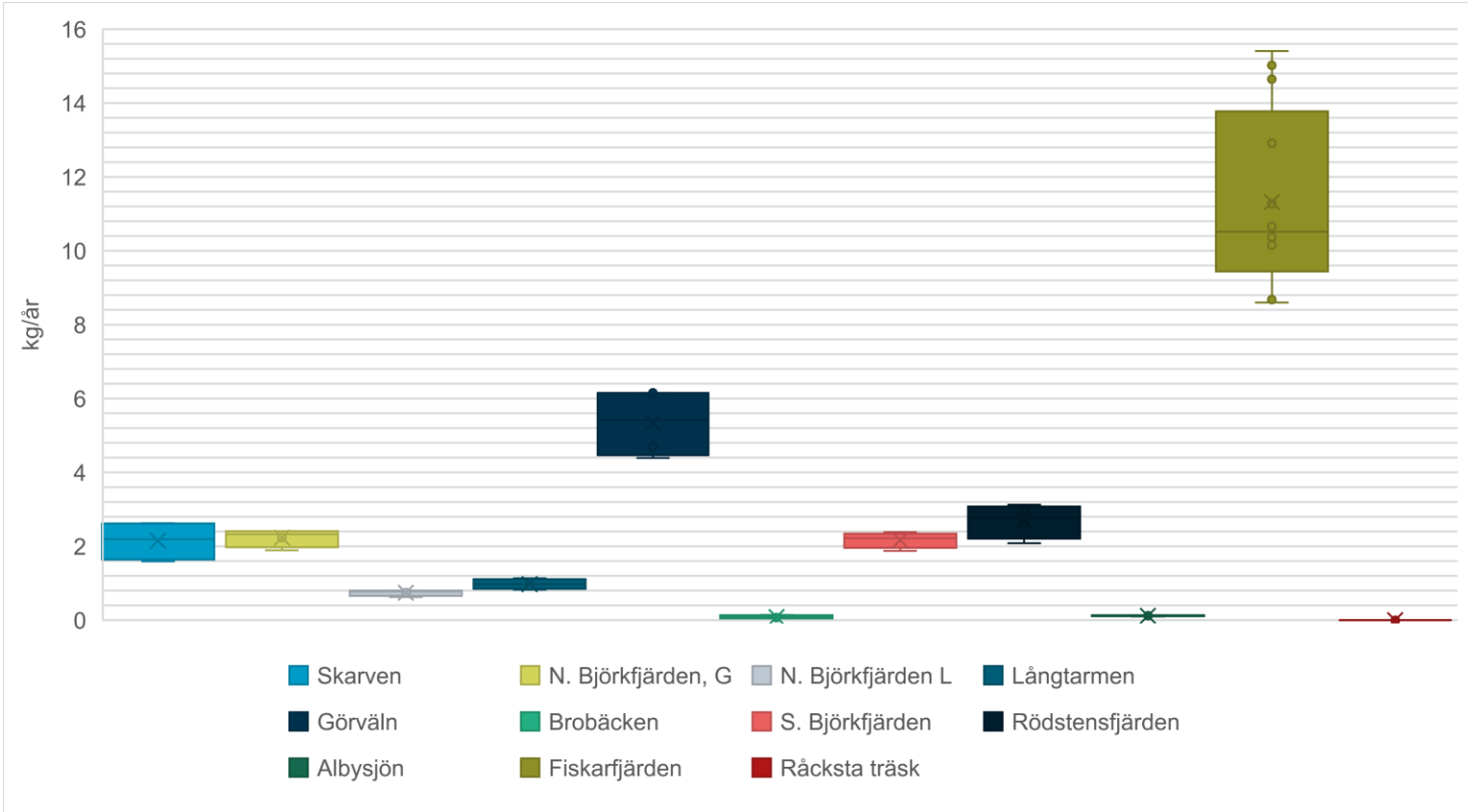
Källor till PFAS, massbalans för Östra Mälarens Vattenskyddsområde
75 (78)



Figur 23. Spridning i massflöden för $\Sigma_{21}\text{PFAS}$ från 2022/2023. $n=4$ för samtliga förutom för Fiskarfjärden då $n=13$ och för Råcksta Träsk då $n=22$ varav 10 prover är dubletter.



Figur 24. Spridning i massflöden för $\Sigma_4\text{PFAS}$ från 2022/2023. $n=4$ för samtliga förutom för Fiskarfjärden då $n=13$ och för Råcksta Träsk då $n=22$ varav 10 prover är dubletter.



Figur 25. Spridning i massflöden för PFOS från 2022/2023. $n=4$ för samtliga förutom för Fiskarfjärden då $n=13$ och för Räcksta Träsk då $n=22$ varav 10 prover är dubletter.

Tabell 37. Min- och maxmassflöden för ytvatten som utreddes i tidigare massbalans (Ekman och Ejhed, 2022).

Vattendrag Enhet: [kg/år]	Σ_9 PFAS	Min	max	Σ_4 PFAS	Min	max	PFOS	Min	max
Bällstaån	0,8	0,3	2,7	0,4	0,0	1,5	0,2	0,0	1,0
Fyrisån	*7,9	3,5	10,4	*6,0	2,5	7,8	*2,4	1,0	3,3
Lövstaån	0,9	0,3	1,5	0,3	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1
Märstaån	3,3	1,7	4,8	2,3	1,0	3,5	1,1	0,5	2,0
Oxundaån	1,3	1,0	1,6	0,4	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2
Örsundaån	0,9	0,2	1,6	0,18	0,16	0,20	0,0	-	-
Delbasånger									
Ekoln	5,3	2,8	7,0	2,7	2,0	5,0	1,0	0,5	2,7
Garnsviken	0,5	0,3	0,7	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1
Norrström	42,6	32,9	51,8	23,7	16,8	23,7	11	2,6	18



Stockholm Vatten och Avfall är en samhällsbyggare i framkant som driver och utvecklar vatten- och avfallstjänster med miljöfokus. Varje dag, året runt förser vi 1,5 miljoner stockholmare med rent och gott kranvatten, renar avloppsvatten och ser till att avfallet tas om hand. Tillsammans med invånare, företag och andra intressenter arbetar vi för att Stockholm ska bli världens mest hållbara stad.

Stockholm Vatten och Avfall
Tel 08-522 120 00
kund@svoa.se
www.svoa.se

En del av Stockholms stad