

Identifiering av direkta och diffusa PFAS-källor för spridning till Mälaren inom Stockholms stad – En litteraturstudie



Marko Filipovic, Sara Holmström, Katrin Holmström och Johan Edvinsson

2017-03-17



NIRAS SWEDEN AB

Fleminggatan 14, 9tr
112 26 Stockholm
www.niras.se
Org.nr. 556175-6197

Uppdrag: 5001527
Upplaga: Slutversion
Datum: 2017-03-17

Marko Filipovic (Uppdragsledare, Specialist)
08-503 844 33
marko.filipovic@niras.se

Sara Holmström (Specialist)
08-503 844 16
sara.holmstrom@niras.se

Katrin Holmström (Specialist)
08-503 844 65
katrin.holmstrom@niras.se

Johan Edvinsson (Handläggare/ GIS expert)
08-503 844 26
johan.edvinsson@niras.se

Framsida framtagen av: Johan Edvinsson och Marko Filipovic (*Det konkreta och diffusa*)

2017-03-17

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
FÖRKORTNINGAR	6
1. INLEDNING	7
1.1 Bakgrund och syfte	7
1.2 Generell information om per- och polyfluoralkylämnen (PFAS)	7
3. RIKTVÄRDEN OCH JÄMFÖRVÄRDEN	9
3.1 Dricksvatten.....	9
3.2 Mark och grundvatten.....	10
3.3 Ytvatten och biota	10
4. VATTENFÖREKOMSTER I STOCKHOLMS STAD	11
5. DAGVATTEN AVRINNING I STOCKHOLMS KOMMUN	12
6. TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR AV PFAS I YTVATTEN OCH GRUNDVATTEN I STOR-STOCKHOLM MED FOKUS PÅ MÄLAREN	13
7. TIDIGARE UPPMÄTTA PFAS HALTER I GRUNDVATTEN I STOR STOCKHOLM	16
7.1 PFOS halter i grundvatten	16
7.2 Halter av övriga PFAS än PFOS i grundvatten.....	17
8. TIDIGARE UPPMÄTTA PFOS/PFAS HALTER I YTVATTEN OCH SEDIMENT I MÄLARENS OLIKA VATTENFÖREKOMSTER	19
8.1 PFOS halter i Mälaren och omgivande recipienter.	19
8.2 Halter av övriga PFAS i Mälarens ytvatten och sediment.	21
9. IDENTIFIERADE POTENTIELLA PFAS-KÄLLOR	23
10. SLUTSATSER OCH IDENTIFIERADE KUNSKAPSLUCKOR	24
11. REFERENSER	26

SAMMANFATTNING

Denna litteraturstudie syftar till att sammanställa tidigare utförda undersökningar av perfluorerade och polyfluorerade ämnen (PFAS) inom Stockholms stad, samt att kartlägga vilka områden som eventuellt kan utgöra PFAS-källor till Mälaren. Som underlag till studien har publicerade rapporter framtagna mellan år 2001 till år 2016 från statliga myndigheter, konsultbolag, kommuner (t.ex. Stockholms stad) samt vetenskapliga artiklar i ämnet använts för att skapa en överblicksbild av förekomsten av PFAS i området kring Mälaren inom Stockholms stads gränser. Information från Miljöförvaltningen, Länsstyrelsen, Stockholm Vatten och Naturvårdsverket har använts för att kartlägga och identifiera potentiella källor och transportvägar av PFAS till grund- och ytvatten.

PFAS är ett samlingsnamn för en stor grupp högfluorerade kemikalier som producerats sedan 1950-talet. Deras unika vatten- och fettavstötande egenskaper gör att de kan användas i många olika industriella applikationer. PFAS används i bland annat ytkemisk industri, vattenavvisande textilier, hydrauliska oljor, rengöringsprodukter, matförpackningar och brandsläckningsskum. PFAS har visat sig vara svårnedbrytbara eller inerta i miljön, och långkedjade PFAS-homologer har visat sig vara bioackumulerbara samt ha en toxisk verkan för vattenlevande organismer.

I Stockholms stad och dess närliggande kommuner har under åren 2001-2016 provtagning och analys med avseende på PFAS gjorts på ytvatten, grundvatten och fisk från Mälaren och närliggande sjöar. Även några enstaka sedimentprov har analyserats från Mälaren. Stor-Stockholm som är tätt befolkat har visat sig ha en tydlig påverkan på kvalitén av grundvattnet men även på ytvattnets kvalitet då förekomsten av PFAS överstiger nationella och europeiska gräns- och riktvärden. Grundvatten och ytvattenpåverkan är en konsekvens av hög belastning av transporter och avfallshantering, dagvatten samt lakvatten från deponier, avnötning från material, en större beredskap gällande bränder (användning av brandsläckningsskum innehållande PFAS) samt av en hög industrialiseringsgrad. Spridning av PFAS kan också ske från diffusa källor via luft och i våt- och torrdeposition. Höga halter av PFAS har även uppmärksamats i ytvatten i Bällstaån och i dagvatten i Årstavikan som har en direkt påverkan av Mälaren. Dessutom har flera närliggande kommuner till Stockholms kommun, exempelvis Botkyrka och Sigtuna, förekommande punktkällor av PFAS som har en påtaglig påverkan av PFAS i grundvatten och ytvatten, vilket i sin tur har en direkt påverkan på Mälaren.

Inom Stockholms stad saknas primärt information kring spridning av PFAS via diffusa källor samt information om halter av PFAS i jord vid punktkällor samt opåverkade områden. Det saknas även information om förekomst av PFAS i sediment från Mälaren. Undersökningar av förekomsten av PFAS i dessa ovan nämnda matriser skulle leda till en bättre förståelse av pågående utsläpp och påverkan av närmiljön i Stockholms stad.

De huvudsakliga slutsatserna från denna litteraturstudie är:

- Totalt har mer än 20 potentiella PFAS-källor av olika slag (punktkällor och diffusa källor) identifierats inom Stockholms stad där brandövningsplatser bedöms vara de mest betydande punktkällorna av PFAS till Mälaren.
- I samtliga provtagna vattenförekomster inom Stockholms stad överskrider miljökvalitetsnormen för PFOS i ytvatten 0,65 ng/l.
- I 22 av 54 grundvattenrör uppmättes PFAS-halter som översteg Vattenmyndigheternas riktvärde på 18 ng/l. I Brunkebergsåsen som är Stockholms stads största grundvattentäkt, mäts PFAS-halten upp till över >250 ng/l vilket överstiger Livsmedelsverkets föreslagna riktvärden för PFAS i grundvatten ≥ 90 ng/l.
- Diffusa källor av PFAS är otillräckligt utredda inom Stockholms stad. Det saknas bland annat information kring PFAS utbredning i sediment från Mälarens olika bassänger.

SUMMARY

The purpose of this literature study is to compile previously conducted studies of per- and polyfluorinated compounds (PFAS) in the City of Stockholm, and to identify areas that could constitute sources of PFAS to Lake Mälaren. As a basis for the study, published reports between year 2001 to 2016 were selected from governmental agencies, consulting firms, municipalities (like City of Stockholm) and scientific articles on the subject have been used to create a snapshot of the presence of PFAS in the area around Lake Mälaren within the borders of the City of Stockholm. Information from the Environment Department, County of Stockholm, Stockholm Vatten and the Swedish Environmental Protection Agency have been used to map and identify potential sources and transport routes of PFAS to ground and surface water.

PFAS is a generic term for a large group of highly fluorinated chemicals that are produced by humans since the 1950s. Their unique water and lipid repelling properties allows them to be used in many different industrial applications. PFAS are used for example in water-repellent fabrics, hydraulic oils, cleaning products, food packaging materials, and firefighting foam (AFFF). PFAS have been found to be persistent in the environment, and long-chain PFAS homologs have been shown to be bioaccumulative and toxic to aquatic organisms.

In the City of Stockholm and its neighboring municipalities in the years 2001-2016 the main sampling and analysis for PFAS have been made on surface water, groundwater and fish from Lake Mälaren and nearby lakes. A few sediment samples have been analyzed for PFAS in Lake Mälaren. City of Stockholm is densely populated, which has been shown to have a significant impact on the quality of groundwater but also on surface water quality when the presence of PFAS exceed national and European limit and guideline values. Impact of ground and surface water is a consequence of the high load of transport and waste management, storm water and leachate from landfills, atmospheric deposition, high readiness and a high degree of industrialization. Elevated concentrations of PFAS has been observed in surface runoff in Bällstaån and storm water in Årstaviken which have a direct impact on Lake Mälaren. In addition, several neighboring municipalities to the municipality of Stockholm, for example, Botkyrka and Sigtuna have been identified to have point sources of PFAS that have a significant impact of PFAS to groundwater and surface water, which in turn has a direct impact on the Lake Mälaren.

The primary information regarding diffuse sources of PFAS and background data of PFAS in the soil around the identified point sources, and background data from unaffected areas is missing for the City of Stockholm. For Lake Mälaren there is a data gap regarding PFAS in sediments. Investigations of the presence of PFAS in the above matrices would lead to a better understanding of current emissions and the impact of the environment in the City of Stockholm.

The main conclusions of this study are:

- In total there are more than 20 identified potential sources of PFAS within the City of Stockholm. Firefighting practice sites where AFFF is used are important point sources of PFAS to the Lake Mälaren.
- In all waterbodies in the City of Stockholm PFOS concentrations were exceeding the European quality standards (EQS) 0,65 ng/l.
- In 22 of 54 groundwater wells measured PFAS levels exceeded "Vattenmyndigheternas" suggested level of 18 ng/l. The largest groundwater source in the City of Stockholm, Brunkebergsåsen, PFAS concentrations were detected above >250 ng/l which is above the Swedish guide line levels.
- Diffuse sources of PFAS are insufficiently investigated within the City. Presence of PFAS in soil and storm water is insufficiently investigated in the City. There is no information on PFAS distribution in sediments from Lake Mälaren.

FÖRKORTNINGAR

Generella förkortningar

AFFF	Brandsläckningsskum, typ B-skum
BÖP	Brandövningsplats

Föroreningar

PFAA	Perfluoro-karboxylsyror
PFSA	Perfluoro-sulfonsyror
PFAS	Perfluorerade och polyfluorerade ämnen
PFBA	Perfluorbutansyra
PFPeA	Perfluorpentansyra
PFHxA	Perfluorhexansyra
PFHpA	Perfluorheptansyra
PFOA	Perfluoroktansyra
PFNA	Perfluornonansyra
PFDA	Perfluordekansyra
PFUnDA	Perfluorundekansyra
PFDoDA	Perfluordodekansyra
PFBS	Perfluorbutansulfonat
PFHxS	Perfluorhexansulfonat
PFOS	Perfluoroktansulfonat
PFDS	Perfluordekansulfonat
FOSA	Perfluoroktansulfonamid
6:2 FTSA	Fluortelomersulfonat

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund och syfte

Denna litteraturstudie syftar till att skapa en översiktlig bild av förekomsten av PFAS i ytvatten, grundvatten och sediment inom Stockholms stad. Detta kommer göras genom att **(i)** identifiera potentiella punktkällor av PFAS inom Mälaren som gränsar till Stockholms stad med hjälp av att sammanställa tillgänglig information från tidigare rapporter som omfattar PFAS-halter i miljön. **(ii)** att i kartform sammanställa samtliga identifierade PFAS-källor/källområden samt potentiella källor till Mälaren inom Stockholms stads avrinningsområde. **(iii)** ta fram kartor som kan användas som underlag för framtida provtagningar av ytvatten och sediment inom Stockholms stad. **(iv)** identifiera och illustrera kunskapsluckor för kunskapsläget gällande PFAS inom Stockholms stad.

Informationen från litteraturstudien kommer bland annat att ligga till grund för att planera och genomföra en undersökning av förekomsten av PFAS i ytvatten från den del av Mälaren som tillhör Stockholms stad. Utöver ovanstående information kommer också annan information samlas in så som vattenflöden för olika vattenförekomster samt meteorologiska parametrar som nederbörd kring Mälaren. Även information om dagvattennät samt dagvattenutlopp kommer att illustreras i kartform och tas med som underlag för att skapa en överblicks bild av dagvattenavrinningen som illustrerar potentiella transportvägar av PFAS med vatten.

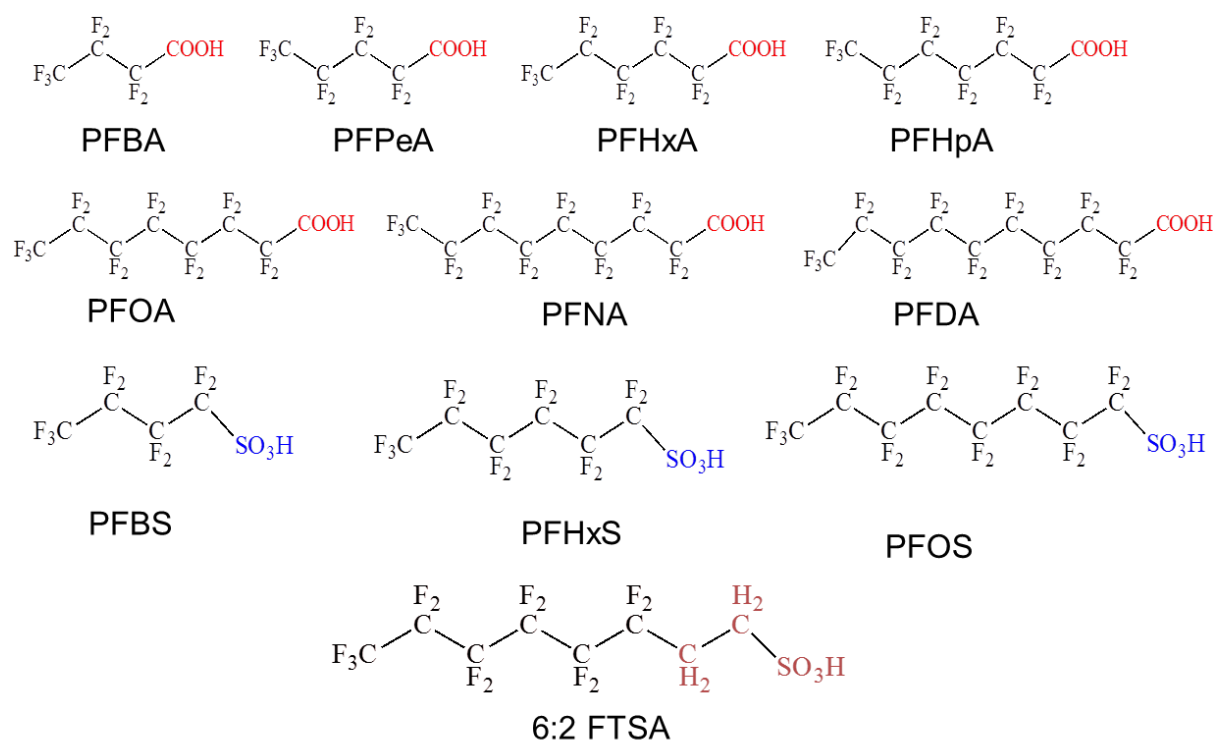
1.2 Generell information om perfluorerade och polyfluorerade ämnen (PFAS)

Perfluorerade och polyfluorerade ämnen (PFAS) är kemikalier som har framställts av människan sedan 1950-talet och går under det generiska namnet PFAS (Wang et al., 2014). Totalt innefattar PFAS mer än 3000 olika substanser av hundratals olika ämnesklasser vars specifika egenskaper bestäms av dess funktionella grupp (molekyldel) (KEMI, 2015). Kemiska namn och molekylstrukturer på samtliga PFASs som har undersökts i studier i anslutning till Stockholms stad är illustrerade i **Figur 1**. PFAS består av en hydrofil (vattenlöslig) funktionell grupp samt en hydrofob (fettlöslig) fluormättad kolkedja, vilket ger PFAS unika egenskaper; att de både är fettavstötande (till exempel oljeavstötande) och vattenavstötande. Dessa unika "surfaktant-egenskaper" har gett PFAS ämnen många olika användningsområden och de utnyttjas i bland annat ytkemisk industri, impregneringssprayer, matförpackningar, allväderkläder elektronikprodukter och brandsläckningsskum typ-B även kallade (AFFF) (Holmquist och Schellenberger et al., 2015; KEMI 2013). De två PFAS som har erhållit mest uppmärksamhet i den vetenskapliga världen och som också har studerats mest i kommunala undersökningar är perfluoroktansyra (PFOA) samt perfluoroktansulfonat (PFOS).

PFOA och PFOS är två substanser som har producerats under lång tid i stora volymer. I naturen har PFAS mätts upp i många olika matriser så som ytvatten, grundvatten, regn och snö (Filipovic et al., 2015a), dagvatten (COHIBA, 2011, Tyréns, 2016), akvatiska organismer, fauna, jord och sediment (Higgins et al., 2006). PFAS består oftast av delvis eller fullt fluorerade alkylkedjor, där fluor-kol bindningarna är en av de starkaste bindningarna i organisk kemi. Kombinationen av att PFAS har fullt fluorerade kolkedjor och både hydrofila och hydrofoba egenskaper medför att de större fluoratomerna skapar en så kallad "sköld-effekt" gentemot de mindre kolatomerna. Denna effekt medför att substanser som PFOA och PFOS är stabila och motstår både kemiska och biologiska

nedbrytningsprocesser som sker i naturen. PFAS giftighet har främst undersökts för två substanser; PFOA och PFOS. Studier visar att de tas upp och ansamlas i människa och djur (Giesy och Kannan, 2002). PFOS och PFOA har i människa visats kunna påverka kolesterol-metabolismen (Fletcher et al., 2013) men samtidig exponering av olika PFAS kan även påverka leverfunktionen, reproduktionsförmågan och immunsystemet (Borg et al., 2013).

För att kunna förutspå transport av PFAS i akvatiska miljöer som till exempel för Östersjön (Filipovic et al., 2013) eller flodsystem i Europa (Lindim et al., 2015) har olika beräkningsmodeller tagits fram. Matematiska modeller är användbara verktyg för att väva ihop insamlad information och ge en holistisk bild av föroreningssituationen.



Figur 1. Elva olika per- och polyfluorerade ämnen vilka ofta analyseras för i miljöprov. Den fullfluorerade kolkedjan är markerad med svart färg och den funktionella karboxylsyragruppen med röd färg, sulfonsyragruppen med blå färg samt telomergruppen med brun färg.

3. RIKTVÄRDEN OCH JÄMFÖRVÄRDEN

3.1 Dricksvatten

Enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (7 § 2001:30) får dricksvatten inte innehålla ämnen i sådana halter att de kan utgöra en hälsofara. Mot bakgrund av att PFAS från brandsläckningsmedel har påträffats i vattentäkter (KemI, 2013), har Livsmedelsverket tagit fram rekommendationer riktade till dricksvattenproducenter och kontrollmyndigheter, se **Tabell 1** (SLV, 2016).

Sammanfattningsvis har Livsmedelsverket satt en åtgärdsgräns på 90 ng/l och ett hälsobaserat riktvärde för tolerabelt dagligt intag (TDI) på 900 ng/l för haltsumman (PFAS-11) av ett urval om 11 PFAS (PFBS, PFHxS, PFOS, 6:2 FTSA, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA och PFDA,) se **Tabell 2** **Figur 1**.

Vid summeringen beaktas enbart påvisade PFAS. Det vill säga att rapporterade "mindre än-värden" för de ämnen som förekommer i så låga halter att de inte kan mätas och/eller rapporteras ej påverkar haltsumman. Rapporteringsgränsen för enskilda PFAS bör vara ≤10 ng/l.

Tabell 1: Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS (PFAS-11) i rå- och dricksvatten (SLV, 2016).

<90 ng/l	Verka för att långsiktigt minimera exponeringen av PFAS via dricksvattnet.
≥90 ng/l	Vidta åtgärder snarast för att sänka halterna till så lågt under åtgärdsgränsen som praktiskt möjligt.
>900 ng/l	Undvik att dricka vattnet eller äta mat som tillagats med vattnet tills halterna sänkts.

Urvalet av PFAS är i enlighet med Kemikalieinspektionens rekommendation att PFOS, PFHxS, PFOA och PFHxA bör analyseras i vatten från platser där användning av PFAS-haltiga släckmedel misstänks (KemI, 2013). Om andra PFAS än urvalet om 11 ämnen signifikant påverkar totalhalten av PFAS i dricksvatten bör Livsmedelsverket kontaktas för rekommendationer om riskhanteringsåtgärder.

Tabell 2: Livsmedelsverkets föreslagna PFAS (PFAS-11), namn och kemisk (SLV, 2016).

PFAS-11	PFAS homologer	Kemisk formel
1	Perfluorbutansulfonat (PFBS)	$C_4F_9SO_3H$
2	Perfluorhexansulfonat (PFHxS)	$C_6F_{13}SO_3H$
3	Perfluoroktansulfonat (PFOS)	$C_8F_{17}SO_3H$
4	Fluortelomersulfonat (6:2 FTSA)	$C_6F_{13}C_2H_4SO_3H$
5	Perfluorbutanoat (PFBA)	C_3F_7COOH
6	Perfluorpentanoat (PFPeA)	C_4F_9COOH
7	Perfluorhexanoat (PFHxA)	$C_5F_{11}COOH$
8	Perfluorheptanoat (PFHpA)	$C_6F_{13}COOH$
9	Perfluoroktanoat (PFOA)	$C_7F_{15}COOH$
10	Perfluoronanoat (PFNA)	$C_8F_{17}COOH$
11	Perfluordekanoat (PFDA)	$C_9F_{19}COOH$

3.2 Mark och grundvatten

Preliminära riktvärden för PFOS i mark och grundvatten (**Tabell 3**) har tagits fram av Statens geotekniska institut, SGI (SGI, 2015). För jord i områden med känslig markanvändning (KM) har skydd av markmiljö varit styrande för riktvärdet medan det för jord i områden med mindre känslig markanvändning (MKM) och för grundvatten har styrts av skydd av grundvatten som en naturresurs (**Tabell 3**). De preliminära riktvärdena avser PFOS men bör även användas som jämförelsevärden för PFAS-11 enligt SGI:s rekommendationer.

Tabell 3: Preliminära riktvärden (i µg/kg TS) för PFOS i mark för olika exponeringsvägar och skyddsobjekt (SGI 2015). KM och MKM avser känslig markanvändning respektive mindre känslig markanvändning.

	KM	MKM
Justerat hälsoriskbaserat riktvärde	31	11 000
Intag av jord	900	17 000
Hudkontakt	6 800	34 000
Inandning av damm	2 100 000	21 000 000
Inandning av ångor	3 600 000	36 000 000
Intag av grundvatten som dricksvatten	33	-
Intag av växter	600	-
Skydd av markmiljö	3	300
Skydd av grundvatten	6,6	21
Skydd av ytvatten	27	27
Preliminärt riktvärde	3	20

Vattenmyndigheterna har liksom Livsmedelsverket tagit fram riktvärden för haltsumman PFAS-11, för klassning av påverkan, risk och status samt för åtgärdsföreläggning avseende PFAS i grundvatten (Vattenmyndigheterna, 2016). Vid PFAS-11 över ≥90 ng/l betraktas grundvattenförekomsten ha otillfredsställande status, men redan vid en haltsumma på 20% av riktvärdet, d.v.s. 18 ng/l, bör åtgärder vidtas för att undvika att halterna stiger (Vattenmyndigheterna, 2016). Riktvärdena förväntas fastställas av vatten-delegationerna år 2018.

3.3 Ytvatten och biota

Miljökvalitetsnormer för PFOS i sötvatten (ytvatten) och biota har framlagts i EU:s vattendirektiv (2013/39/EU) och implementerats som gränsvärden (**Tabell 4**) i svensk lagstiftning genom Havs- och vatten-myndighetens författningssamling (HVMFS 2013:19). Normen för PFOS träder i kraft i december 2018 och ska uppnås senast i december 2027. Miljökvalitetsnormer saknas för andra PFAS.

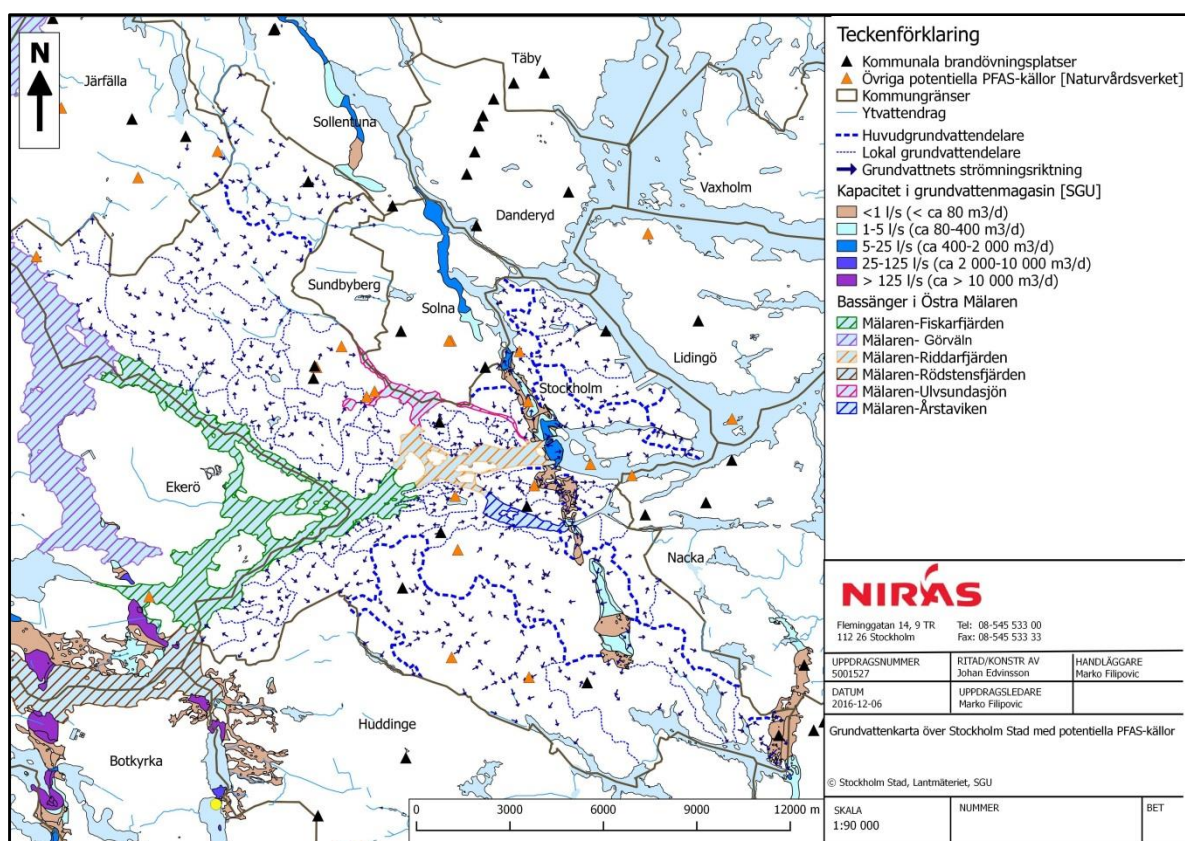
Tabell 4: Preliminära riktvärden för PFOS grundvatten (SGI, 2015) samt gränsvärden för PFOS i ytvatten och biota (HVM, 2015). För vatten används enheten ng/l (miljarddel gram per liter) och för biota (fisk, muskelvävnad) ng/g våtvikt. Inlandsytvatten avser vattendrag, sjöar och därmed sammanhängande konstgjorda ytvatten. Med *medel* avses årsmedelvärde medan *max* utgör maximal tillåten halt vid ett enskilt mätillfälle.

Preliminära riktvärden för PFOS			Gränsvärden för PFOS			
Grundvatten (ng/l)	Inlandsytvatten (ng/l)		Andra ytvatten (ng/l)		Biota (fisk)	
	medel	max	medel	max	(ng/g v.v.)	
45	0,65	36 000	0,13	7 200	9,1	

4. VATTENFÖREKOMSTER I STOCKHOLMS STAD

I Stockholm finns 23 ytvattenförekomster som, om statusen inte idag är god, ska ha uppnått god status till år 2027. Mälaren inom Stockholms stad är uppdelad i sju olika vattenförekomster; Riddarfjärden, Fiskarfjärden, Görvål, Rödstensfjärden, Ulvsundasjön, Bällstaviken, och Årstaviken, se **Figur 2**, högupplöst figur finns illustrerad i **Bilaga 1**.

Stockholms kommun har i princip enbart ett betydande grundvattenmagasin som utgörs av Brunkebergsåsen, även kallad Stockholmsåsen. Grundvattnets flöde i Stockholms kommun delas av flera grundvattendelare som tillsammans med grundvattenflöden illustreras i **Figur 2**. Möjligheten att utvinna grundvatten ur övriga grundvattenförekomster än Stockholmsåsen är små och nyttjas inte för produktion av dricksvatten (förutom vid eventuellt privat borrhåll), vilket medför att EU inte ställer lika stora krav gällande undersökning och inrapportering av Stockholmsåsen status (Miljöförvaltningen, 2013). Stockholms stad utnyttjar inte grundvatten i sin vattenförsörjning utan istället hämtas ytvatten från Mälaren som renas innan distribution av Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall.



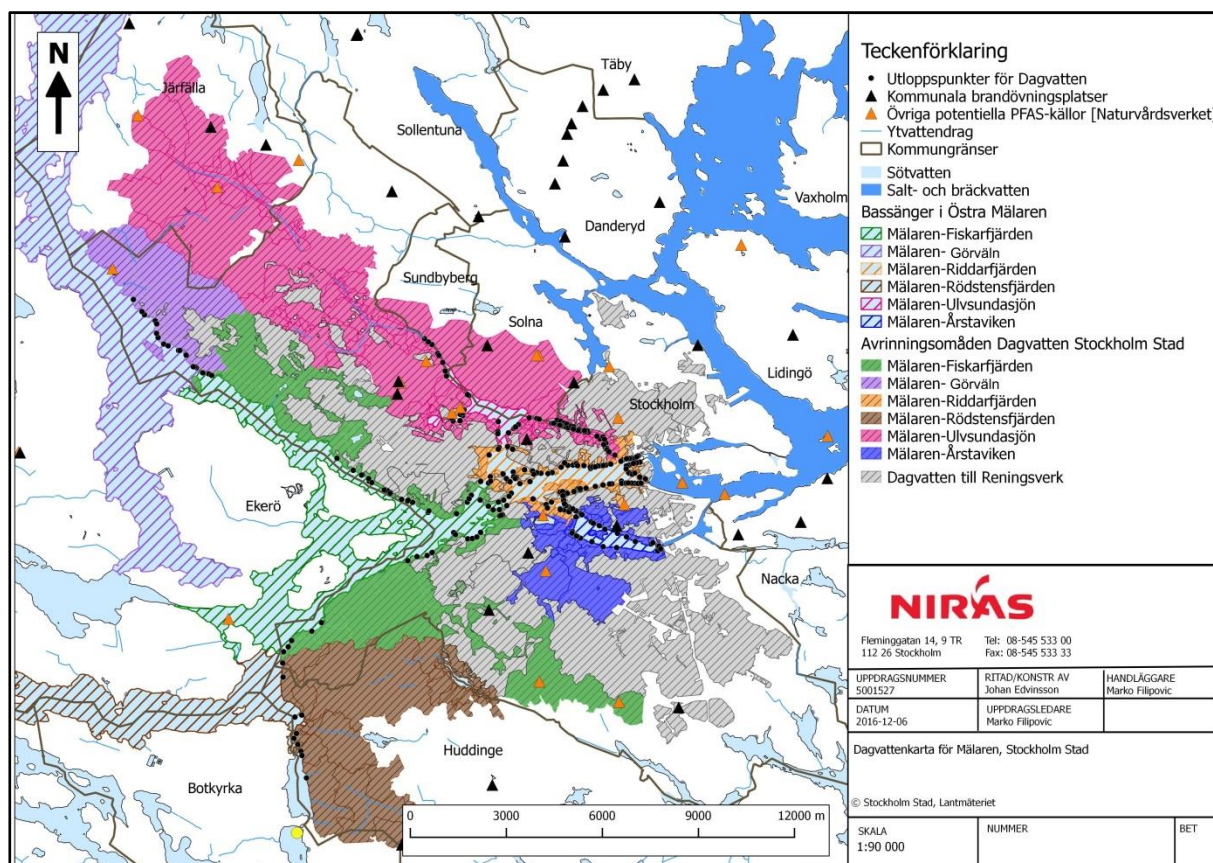
Figur 2. Grundvattnets strömningsriktningar, potentiella PFAS-källor samt grundvattnets (Stockholmsåsen) uttagskapacitet är illustrerad inom Stockholms stad och närliggande kommuner.

Nederbörden i avrinningsområdet Stockholms stad uppgår till cirka 600-700 mm per år (SMHI, 2016). Nederbörden infiltrerar den mättade zonen och bildar grundvatten. Efter vattnets uppehållstid i marken flödar det till slut ut i recipienten. Nederbörd som når hårdgjorda ytor transporteras i högre grad direkt till recipient via dagvattensystem. Om grundvatten och dagvatten är förorenat med förhöjda halter av PFAS tyder det på att vattnet har runnit igenom förorenad jord eller förorenade ytor och fört med sig PFAS. På grund av sina kemiska egenskaper (se kapitel 1.2) kommer PFAS kunna påverka ekosystem och leda till en sämre vattenkvalitet (Stockholm vatten, 2015). Enligt Naturvårdsverkets rapport (2003) består ytvattendrag normalt sett till mer än 80 % av grundvatten. Trots detta saknas fortfarande djupare kunskap om processerna för transport av organiska miljöföroreningar samt näringsämnen från grundvatten till ytvatten (Miljömål, 2016). Det hydrologiska kretsloppet omfattar vattnets cirkulation, där det står klart att grundvatten har en direkt koppling till ytvattnet och kan därmed påverka kvalitén på recipientens status.

5. DAGVATTENAVRINNING I STOCKHOLMS KOMMUN

Stockholm Vatten och Avlopp äger och förvaltar nära 200 mil ledningsnät som hanterar dagvattnets avrinning i Stockholm. Ungefär 100 mil av ledningsnätet består av ett kombinerat system, där spill- och dagvatten avleds i samma ledning och renas i reningsverk. Resterande 100 mil av ledningsnätet är utformat som ett duplikatsystem, d.v.s. att dagvatten avleds separat, till en närliggande recipient, bland annat Mälaren och Saltsjön (Stockholms stad, 2015).

Baserat på information om avrinningsområden med kombinerade eller duplicerade system för dagvatten (Miljöförvaltningen, 2016), med utlopp till Mälaren, visualiseras avrinningsområdet i **Figur 3** (högupplöst figur finns i **Bilaga 2**). I samma figur illustreras även lägen för kommunala brandövningsplatser (BÖP) inom Stockholms stad och närliggande kommuner (Länsstyrelsen 2016), vilka eventuellt kan påverka PFAS-halterna i grundvatten och ytvatten i Stockholms kommun. Potentiella PFAS-källor som har identifierats av Naturvårdsverket inkluderas också i denna sammanställning (Naturvårdsverket, 2015). Totalt finns det mer än 20 identifierade potentiella PFAS-källor inom Stockholms stad (**Figur 3**).



Figur 3. Avrinningsområden där spill- och dagvatten avleds till och renas i reningsverk är markerade med gråa streckade ränder. Avrinningsområden där spill- och dagvatten avleds via dagvatten utlopp till Mälaren är markerade med brun, blå, grön, lila och rosa färg.

6. TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR AV PFAS I YTVATTEN OCH GRUNDTVATTEN I STOR-STOCKHOLM MED FOKUS PÅ MÄLAREN

En kort sammanfattning av Stockholmsanknuten forskning kring PFAS ges i **Figur 4**. I Stockholms län utfördes den första screeningen av PFAS år 2001. Där uppmättes PFOS i höga halter i ytvatten vid en före detta brandövningsplats, Rosersberg i Sigtuna kommun. Detta var första gången i Sverige som PFOS detekteras i ytvatten som var påverkat av en brandövningsplats. Föreningen i Rosersberg uppmärksammades i ett forskningsprojekt mellan Institutionen för tillämpad miljöforskning (ITM) numera ACES, Miljöförvaltningen i Stockholm och Stockholm Vatten. Projektets mål var att ta fram information om vilka ämnen som bör prioriteras i stadens miljögiftsarbete, både i form av åtgärder och miljöövervakning. PFOS- och PFOA-halterna undersöktes i ytvatten, sediment och biota. Lite längre fram i tiden, år 2009, initieras RE-PATH-projektet via Svenska Miljöinstitutet IVL, för att öka förståelsen av PFAS spridning vid källzoner ("hot-spots") belägna på brandövningsplatser vid bland annat Arlanda Airport, Stockholm (IVL, 2013a).

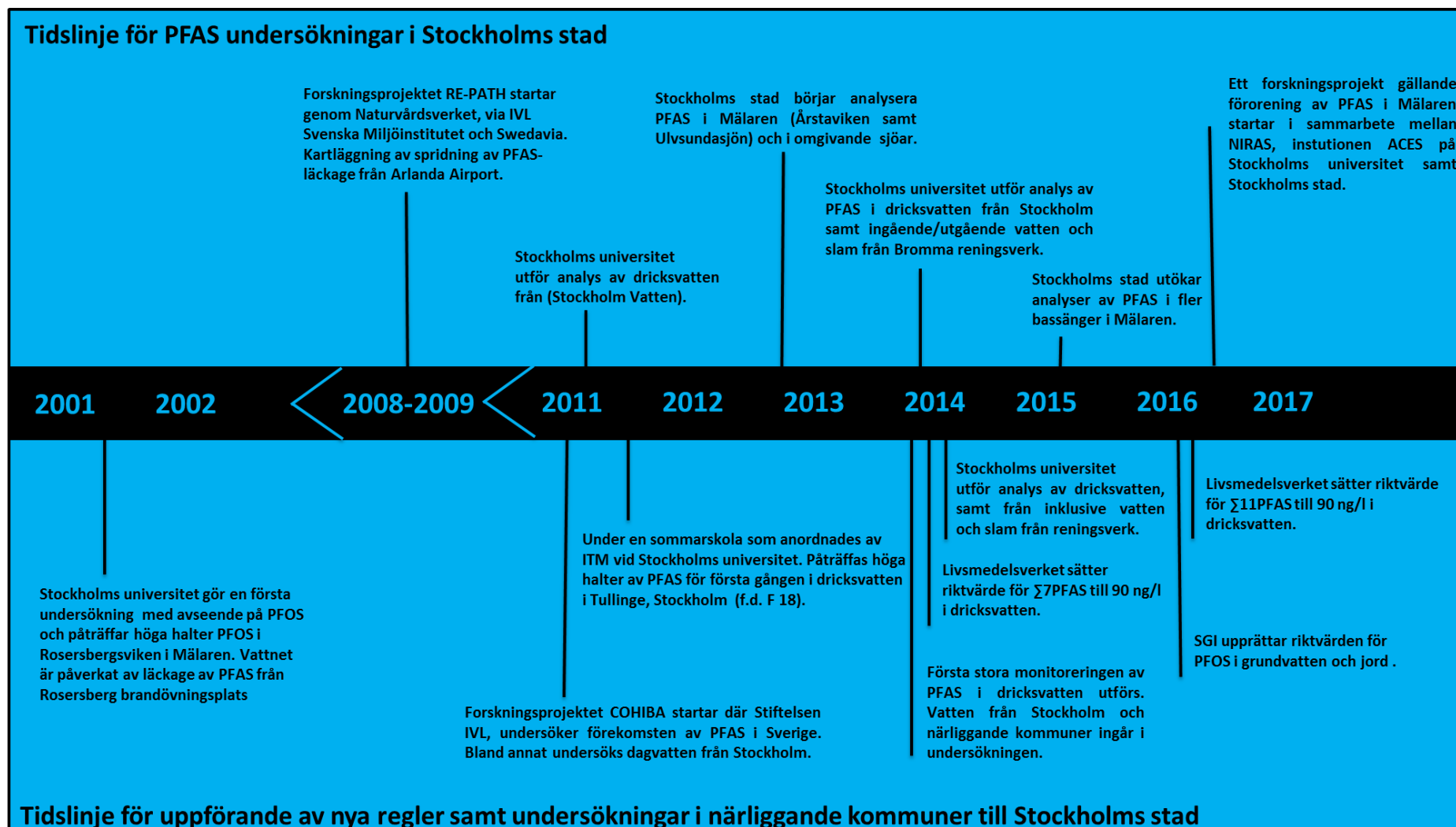
År 2011 publicerades en vetenskaplig publikation där förhöjda halter av PFAS detekterats i dricksvatten i Stockholm (ursprung Mälaren) jämfört med PFAS-halter från andra storstäder i Europa (Ullah, et al. 2011). Samma år, 2011, gjordes en upptäckt under en sommarskola vid Stockholms Universitet (ITM numera ACES) där gymnasielever uppmätte höga halter av PFAS i dricksvatten från

Tullinge, Botkyrka kommun, jämfört med dricksvatten provtaget inom Stockholms stad (Filipovic, 2014). I Tullinge användes grundvatten från Tullingeåsen till dricksvattenproduktion till skillnad från övriga Stockholm som får sitt vatten från Mälaren. Vid denna upptäckt misstänktes grundvattenförorening härstamma från tidigare brandskumsanvändning vid den f.d. övningsplatsen vid F 18 Tullinge, vilket senare visade sig vara sant (Filipovic et al., 2015b). Dricksvattentäkten stängdes av och invånarna får nu istället dricksvatten från Stockholm Vatten och Avfall med ursprung från Mälaren. Grundvattnet från Tullingeåsen flödar ut till Tullingesjön som i sin tur mynnar ut i Albysjön, och vidare ut i Mälaren. Tullingesjön ligger i Botkyrka kommun men kommer påverka närliggande vattenförekomster som är inom Stockholms stad över tiden. Samma år utfördes inom det EU-finansierade projektet COHIBA en screening och sammanställning av PFAS-undersökningar i flera länder i Europa och i Sverige där bland dagvatten samt ingående/utgående vatten och slam från Stockholm analyserades för flertalet PFAS; PFHxA, PFOS, PFOA samt PFDA (COHIBA, 2011). Medelhalten av PFHxA, PFOS, PFOA samt PFDA i utgående vatten tagna i Stockholm var 6,9 , 11,1 , 15,2 respektive 1,0 -1,3 ng/l. Genom att jämföra PFAS-halter i utgående avloppsvatten observerades att länder i Europa exempelvis Sverige och Finland som har högre brutto national produkt (BNP) (>U.S. \$37 000) hade högre halter av PFAS i reningsverk än länder med lägre BNP (<U.S. \$20 400) (Polen, Litauen, Lettland och Estland) (Filipovic et al., 2013). Vilket tyder på högre förekomst och användning av PFAS-innehållande produkter i Stockholm och Sverige än i Polen, Litauen, Lettland och Estland.

År 2013 gjordes en nationell screening av PFAS i dricksvatten, där även dricksvatten från Stockholm Vatten analyserades, och som påvisade förekomst av PFAS (Holmström, et al. 2014). Mellan år 2011 till år 2012 gjorde Miljöförvaltningen en stor provtagning av grundvatten och ytvatten inom Stockholms stad där 54 olika grund- och ytvatten analyserades med avseende på elva olika PFAS (Miljöförvaltningen, 2013). PFOS/PFAS halterna varierade mellan under detektionsgräns upp till <1000 ng/l. Det år som denna undersökning gjordes så fanns det inga svenska riktlinjer för PFOS/PFAS i grund- och ytvatten. De jämförelse/riktvärden som används för att jämföra de uppmätta halterna var troligtvis för höga, därav har ingen uppföljning kring de förhöjda PFAS-halterna föreslagits.

I en senare studie vid Stockholms universitet undersöktes förekomsten av fjorton olika PFAS i dricksvatten samt ingående och utgående vatten från Bromma reningsverk (Filipovic et al., 2015c). I dricksvatten från två dricksvattenproducenter, Stockholm Vatten och Norrvatten, vilka använder Mälaren som källa för dricksvattenproduktion kunde samtliga 14 PFAS observeras. PFOS observerades i högst halt mellan 2,9 ng/l till 3,9 ng/l. PFAS halterna i dricksvatten återspeglar halterna i Mälaren, d.v.s. PFAS renas inte i hög grad vid dricksvattenproduktion. I ingående och utgående vatten och slam från Bromma reningsverk kunde PFOS observeras i 7 ng/l, 5 ng/l respektive 8,8 ng/g torrsvikt (Filipovic et al., 2015c), där PFAS halterna som förekommer i dricksvatten bidrar till det som observeras i reningsverk, vilket tyder på en cirkulering av PFAS i vatten.

Från år 2011 (fisk) och år 2012 (ytvatten) ingår PFAS i den årliga miljögiftsovervakningen som Miljöförvaltningen i Stockholm gör i Mälaren och andra ytvattenrecipienter inom kommunen (WSP, 2015; Miljöförvaltningen, 2016). PFOS övervakas också regelbundet i rötslam från Henriksdals och Bromma reningsverk (Stockholm Vatten, 2016).



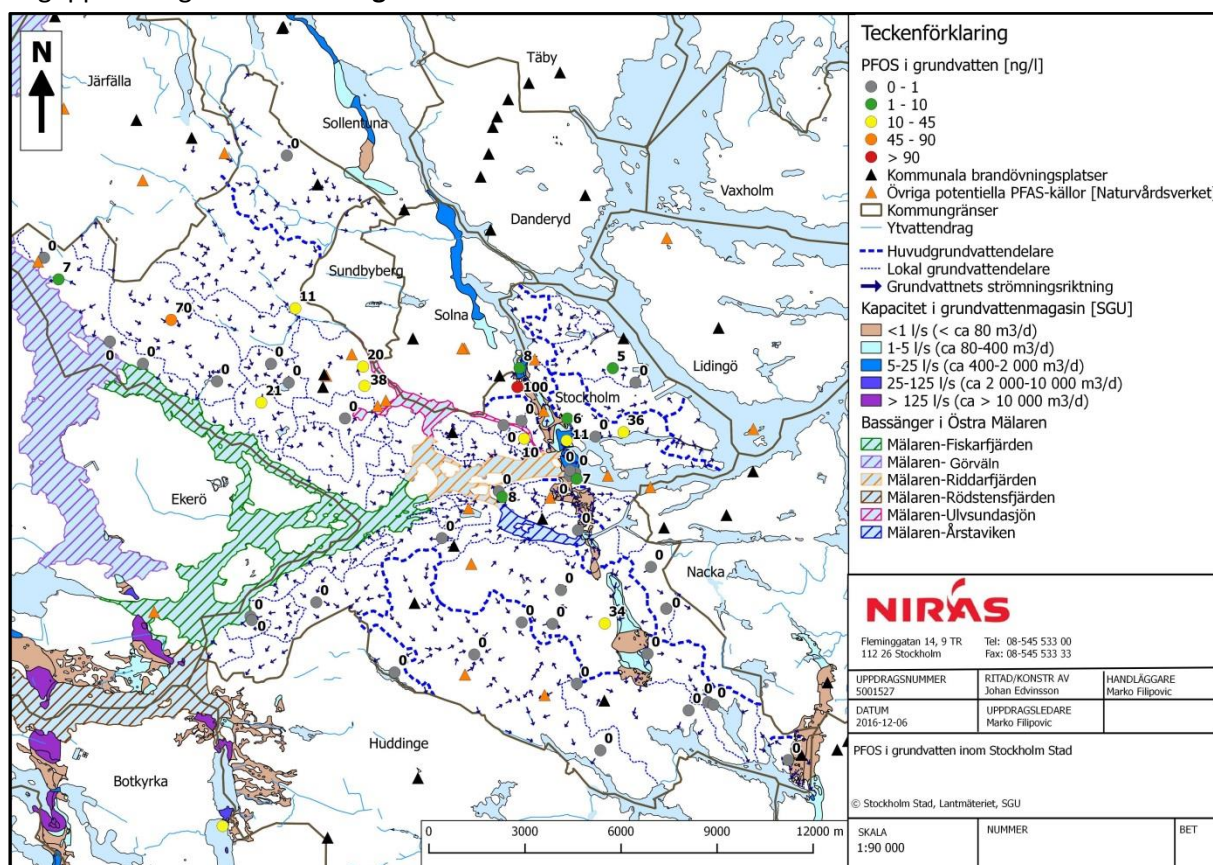
Figur 4. Tidslinje för utvalda PFAS undersökningar inom Stockholms stad och dess närliggande kommuner från år 2001 till år 2016.

7. TIDIGARE UPPMÄTTA PFAS HALTER I GRUNDVATTEN I STOR STOCKHOLM

Miljöförvaltningen gjorde en kvalitetsundersökning av Stockholms stads grundvatten under år 2011 till år 2012, i linje med stadens miljöövervakning (Miljöförvaltningen, 2013) som redovisar koncentrationer av elva olika PFAS (PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFBS, PFHxS, PFOS och FOSA) i 54 olika lokaler (provtagna vid ett tillfälle), varav 52 grundvatten och 2 ytvatten (Sätraån samt dike vid Flatenbadet) runt om Stockholms stad.

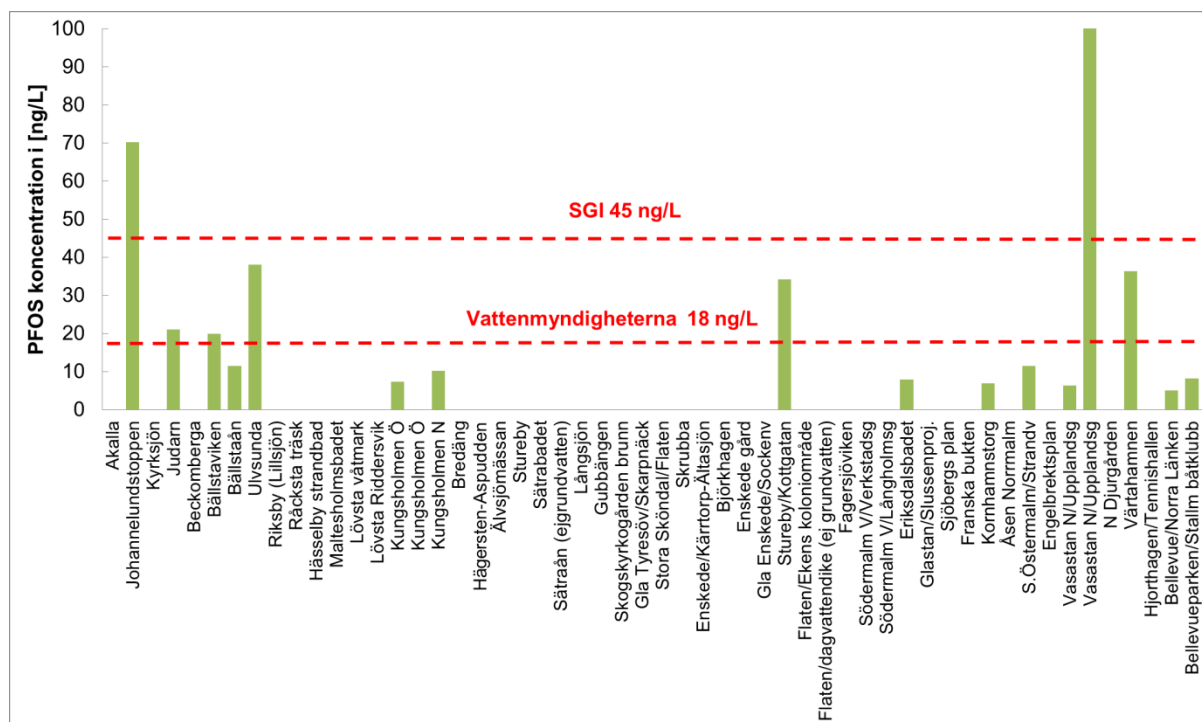
7.1 PFOS-halter i grundvatten

Den geografiska spridningen av PFOS i grundvatten, grundvattnets strömningsriktningar, potentiella PFAS-källor samt grundvattnets uttagkapacitet inom Stockholms stad är illustrerade i **Figur 5**, högupplösta figurer finns i **Bilaga 3**.



Figur 5. PFOS uppmätt vid ett tillfälle i grundvatten inom Stockholms stad åren 2011-2012. Grundvattnets strömningsriktningar, potentiella PFAS-källor samt grundvattnets uttagkapacitet är illustrerade inom Stockholms stad och närliggande kommuner.

I två av 54 grundvattenrör mer specifikt vid Johannelundstoppen och Upplandsgatan översteg PFOS-halten i grundvatten SGIs framtagana preliminära riktvärde på 45 ng/l se (**Figur 5** och **Figur 6**). Det preliminära riktvärdet ämnas för skydd av grundvattentäkter som kan användas till dricksvattenproduktion och för spridning till ytvatten och våtmarker (**Tabell 4**). I sju av 54 grundvattenrör översteg PFOS-halten 18 ng/l, vilket enligt Vattenmyndighetens rekommendationer betyder att åtgärder bör vidtas för att undvika att halterna stiger (Vattenmyndigheterna, 2016). Riktvärden förväntas fastställas av vatten-delegationerna år 2018 beskrivet i ovanstående kapitel "3.2 Mark, grundvatten och ytvatten".



Figur 6. PFOS i ng/l uppmätt vid ett tillfälle i grundvatten inom Stockholms stad mellan åren 2011 och 2012. SGIs (SIG, 2015) och Vattenmyndigheternas (Vattenmyndigheterna, 2016) riktvärden är illustrerade med streckade röda linjer, alla staplar som är högre än de röda streckade linjerna överstiger de uppsatta preliminära riktvärdena för PFOS i grundvatten.

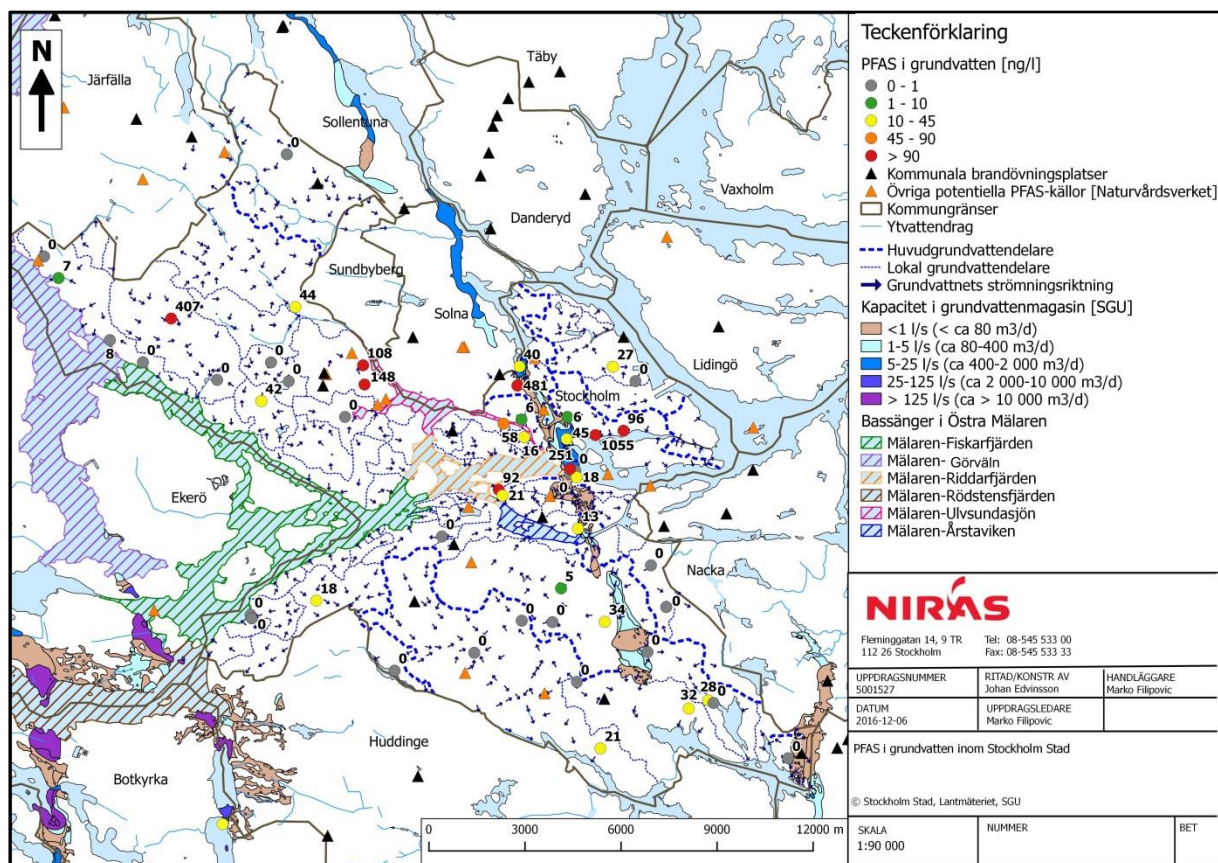
7.2 Halter av övriga PFAS än PFOS i grundvatten

Den geografiska spridningen av totala koncentrationer (ng/l) av elva PFAS (Livsmedelsverkets PFAS-11) i grundvatten, grundvattnets strömningsriktningar, potentiella PFAS-källor samt grundvattnets uttagsskapacitet inom Stockholms stad är illustrerade i **Figur 7**, högupplösta figurer finns illustrerade i **Bilaga 3**.

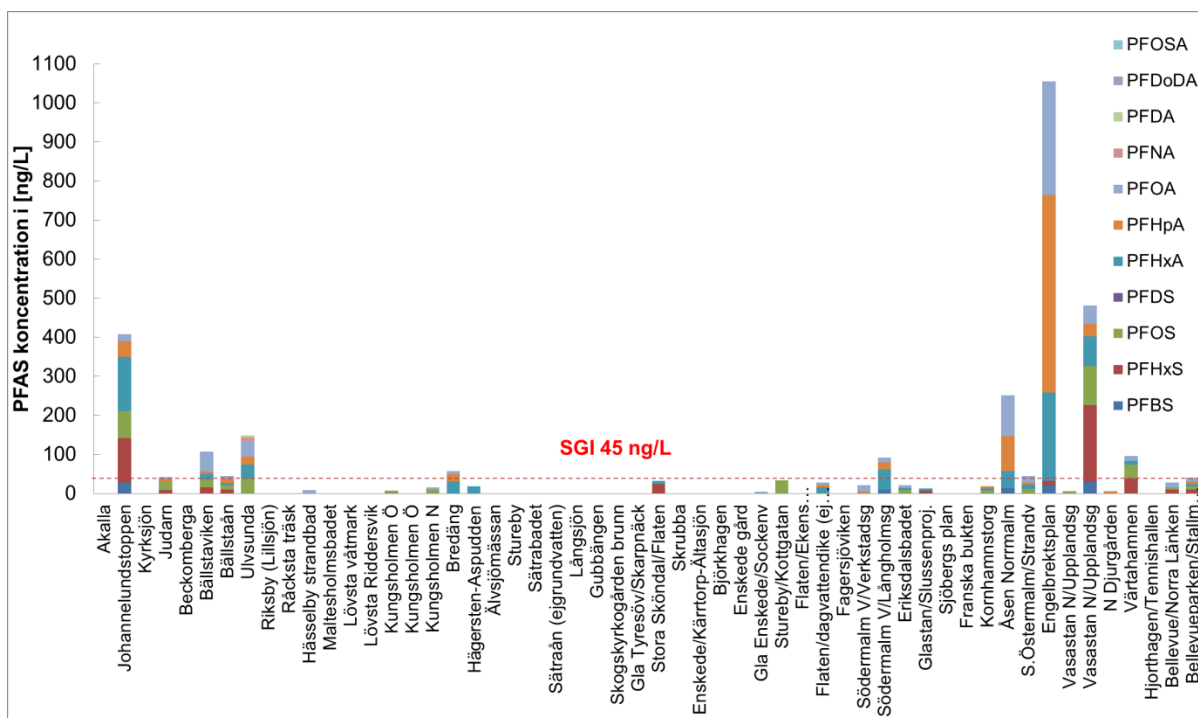
I 23 av 54 rör var samtliga PFAS under rapporteringsgränsen. I åtta av 54 grundvattenrör översteg den uppmätta koncentrationen av PFAS 90 ng/l (**Figur 7**, **Figur 8**). Den högsta halten av summa PFAS-11 uppmättes vid Engelbrektsplan, halten översteg 1000 ng/l. PFOA och PFOS var de främst förekommande PFAS. PFNA och PFDA detekterades endast i 1 av 54 rör, medan PFUnDA samt PFDoDA var under rapporteringsgränsen.

I 22 av 54 rör uppmättes PFAS halter som översteg Vattenmyndigheternas riktvärde på 18 ng/l (**Figur 8**). Den procentuella fördelningen av de undersökta PFAS är illustrerat i **Bilaga 3**. Det finns inga klara likheter mellan den procentuella PFAS fördelningen i de olika proverna, vilket visar att de troligtvis har blivit påverkade av olika PFAS-källor.

Det är värt att notera är att de PFAS som mättes upp i grundvatten under år 2011 till år 2012 inte innefattar alla av de PFAS-11 som ingår i Livsmedelsverkets rekommendationer för dricksvatten från år 2016; PFBA, PFPeA samt PFAS-förämnet 6:2 FTSA var inte inkluderade i undersökningarna från år 2011 till år 2012 (Miljöförvaltningen, 2013).



Figur 7. Summan av elva PFAS i ng/l uppmätta vid ett tillfälle i grundvatten inom Stockholms stad mellan åren 2011 och 2012. Grundvattnets strömningsriktningar potentiella PFAS-källor samt grundvattnets uttagskapacitet är illustrerade inom Stockholms stad och närliggande kommuner.



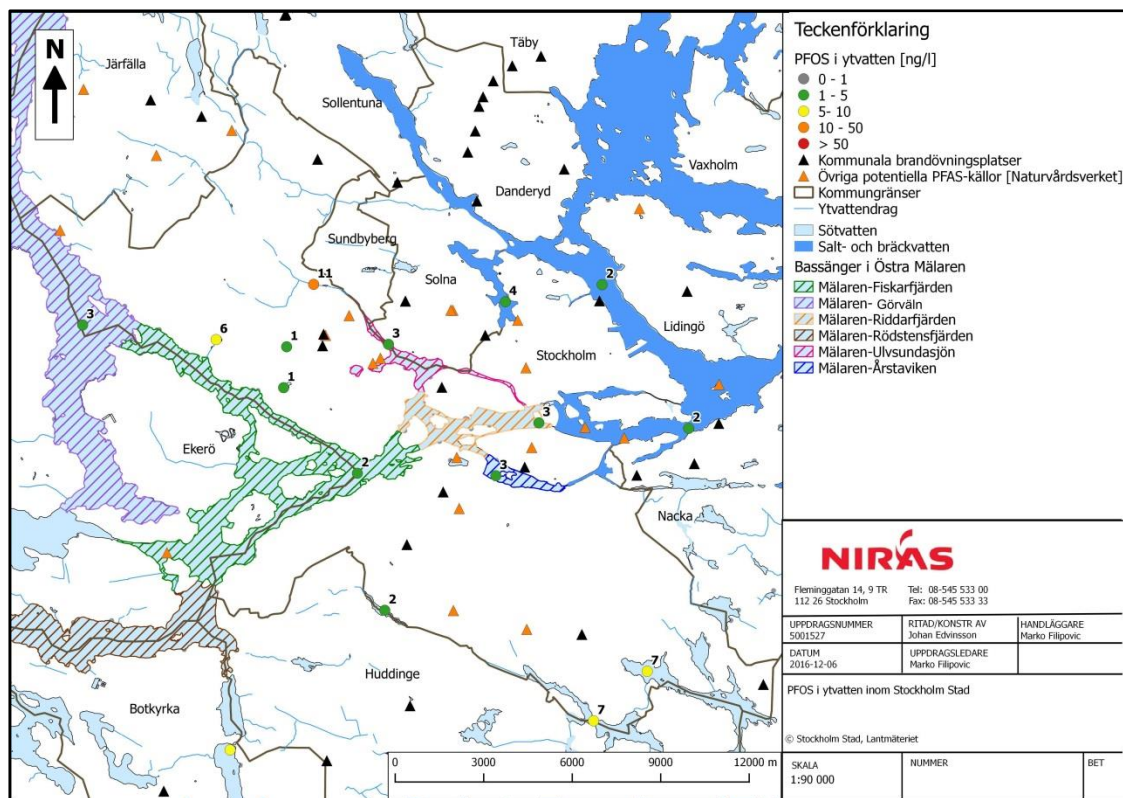
Figur 8. Elva PFAS i ng/l uppmätta vid ett tillfälle i grundvatten inom Stockholms stad mellan åren 2011 och 2012.

8. TIDIGARE UPPMÄTTA PFOS/PFAS HALTER I YTVATTEN OCH SEDIMENT I MÄLARENS OLIKA VATTENFÖREKOMSTER

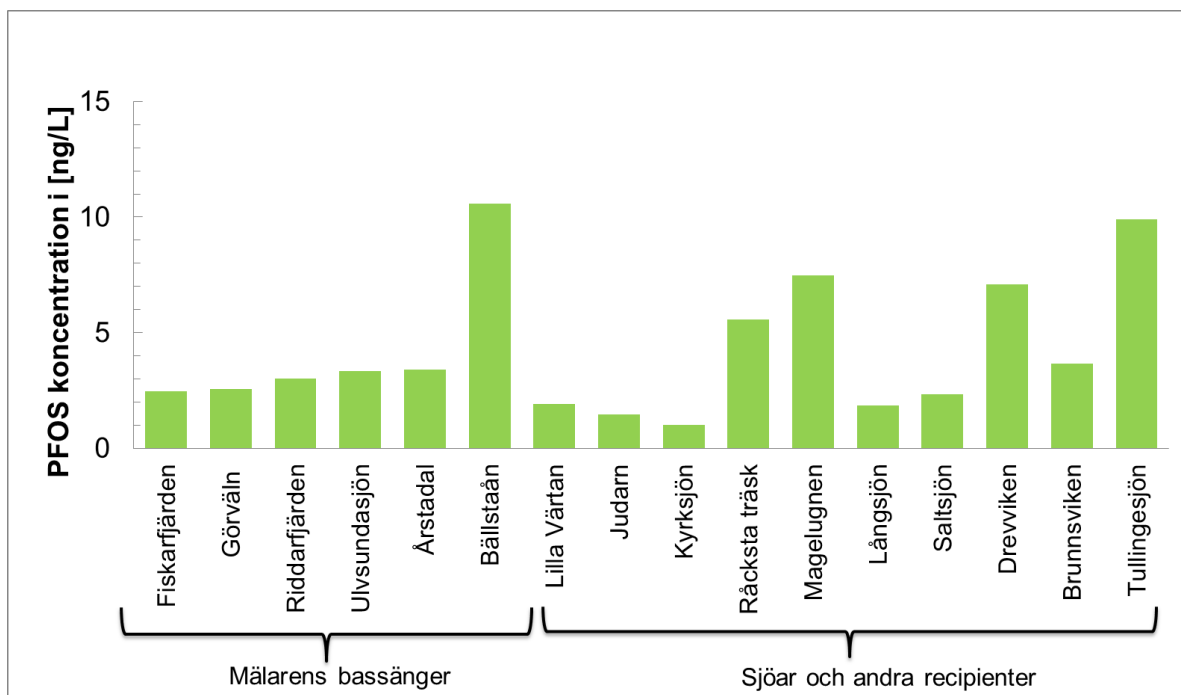
Miljögiftsövervakningen av åtta olika PFAS (PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS och PFDS) inom Stockholms stad utfördes år 2016 i sju olika vattenförekomster i Mälaren; Riddarfjärden, Fiskarfjärden, Görväln, Rödstensfjärden, Ulvsundasjön, Bällstaviken, och Årstaviken, samt i mindre sjöar och andra omgivande recipienter (**Figur 9- 12**, högupplösta figurer finns illustrerade i **Bilaga 4**).

8.1 PFOS halter i Mälaren och omgivande recipienter.

Inom Miljöförvaltningens miljögiftsövervakning undersöks regelbundet PFAS-förekomsten i ytvatten vid flera provpunkter (WSP, 2015; Miljöförvaltningen, 2016). I Årstaviken har ytvatten provtagits och analyserats med avseende på PFOA och PFOS månatligen sedan år 2012 (Miljöförvaltningen, 2016). Årsmedelvärdet för PFOS och PFOA i ytvatten från Årstaviken tagna mellan år 2012 till år 2016 var 5,7 ng/l respektive 1,8 ng/l. Dessa halter ligger över gällande MKN (0,65 ng/l) för inlandsytvatten, **Tabell 4**). Medelhalten av PFOS i Mälaren och närliggande recipienter provtagna under år 2016 (Miljöförvaltningen 2016), Tullingesjön i Botkyrka kommun är provtaget under ett mättillfälle år 2011 (Stockholms universitet, 2011) är illustrerade i **Figur 9**. PFOS halten i Bällstaån är ungefär 3 till 4 gånger högre än i vad man kan mäta upp i Mälaren, men är i samma storleksordning som de halter som mätts upp i Drevviken, Räcksta träsk, Magelungen och Tullingesjön (**Figur 10**). De förhöjda halterna i dessa ovan nämnda recipienter indikerar en påverkan från diffusa utsläpp eller punktkällor inom området.



Figur 9. Medelhalten av PFOS i ng/l uppmätt i Mälarens ytvatten och omgivande recipienter inom Stockholms stad provtagna år 2016. Tullingsjön är provtaget under ett tillfälle år 2011.



Figur 10. Medelhalten av PFOS i ng/l uppmätt i Mälarens ytvatten och omgivande recipienter inom Stockholms stad mellan åren 2015 och 2016. Tullingsjön är provtaget under ett tillfälle år 2011.

8.2 Halter av övriga PFAS i Mälarens ytvatten och sediment.

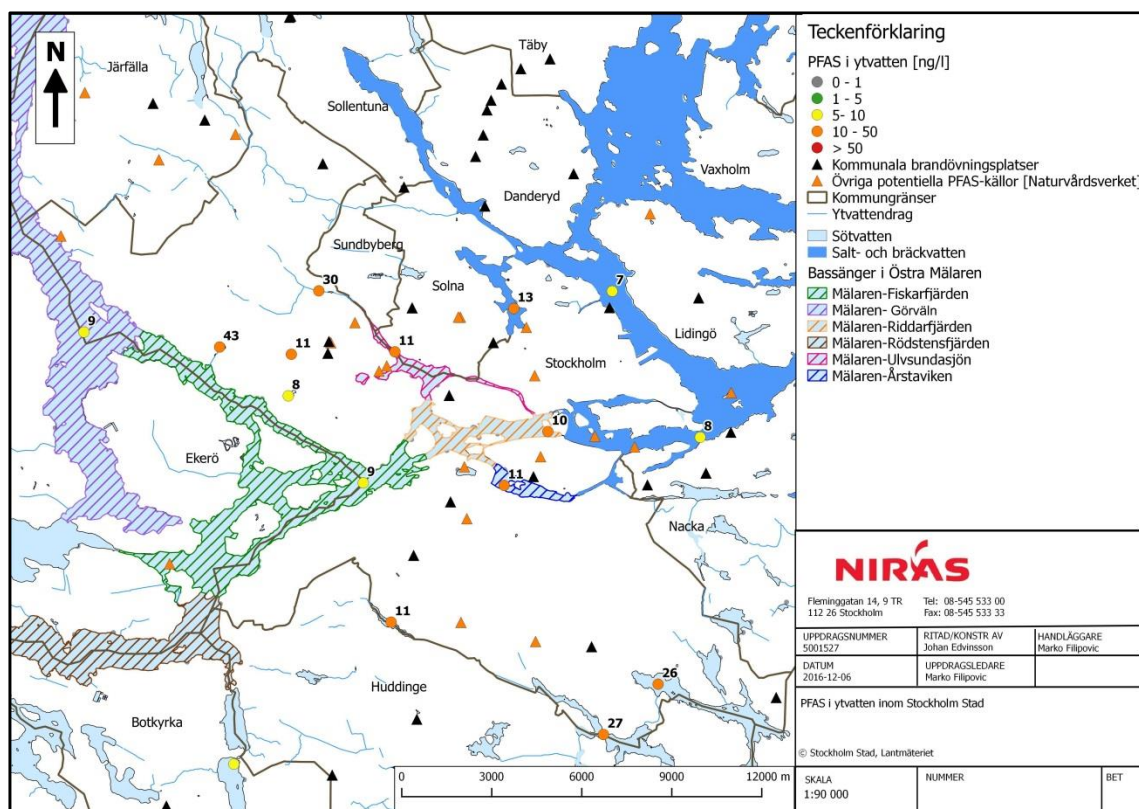
Medelhalten av åtta olika PFAS; (PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS och PFDS) provtagna år 2016 i miljöövervakningsprogrammet för ytvatten illustreras i **Figur 11** samt i **Figur 12**. De högsta PFAS halterna (>90 ng/l) som har uppmätts i ytvatten inom Stockholms stad kommer från Bällstaån som mynnar i Bällstaviken/Ulvsundsjön och har därmed har en direkt påverkan på Mälaren (Bjerking, 2015; Miljöförvaltningen, 2016; Tyréns, 2016). Bällstaån har undersökts vid flera tillfällen med avseende på PFAS, men föroreningskällan har inte blivit identifierad. De uppmätta halterna av PFAS vid mynningen av Bällstaån har varit upp till 30 ng/l, vilket tyder på att PFAS halterna späds ut med mindre påverkat vatten innan vattnet når Bällstaviken. En potentiell källa till PFOS i Bällstaån skulle kunna vara Bromma flygplats, där den tidigare och nuvarande brandövningsplatsen har en bekräftad PFAS-förorening, men enligt tillgänglig information kring avrinningsområdet avrinner flygplatsområdet via dagvattennätet till Bällstaviken/Ulvsundsjön nedströms Bällstaån. Emellertid är halterna av PFOS i Ulvsundsjön/Bällstaviken ca: 3,3 ng/l i stort sett på samma nivå som PFAS halterna i Årstaviken 3,4 ng/l i Stockholm (WSP, 2015, Miljöförvaltningen, 2016).

En annan recipient som har potentiell påverkan på Mälaren är Tullingesjön där summan av fyra PFAS; PFOA, PFHxA, PFOS, PFHxS har mätts upp till till 34,5 ng/l. Tullingesjön som mynnar ut i Albysjön som rinner ut i Rödensfjärden är påverkat av PFAS från f.d. F 18 Tullinge där historisk användning av AFFF-skum har påverkat både grundvatten och ytvatten (Filipovic, et al. 2015a).

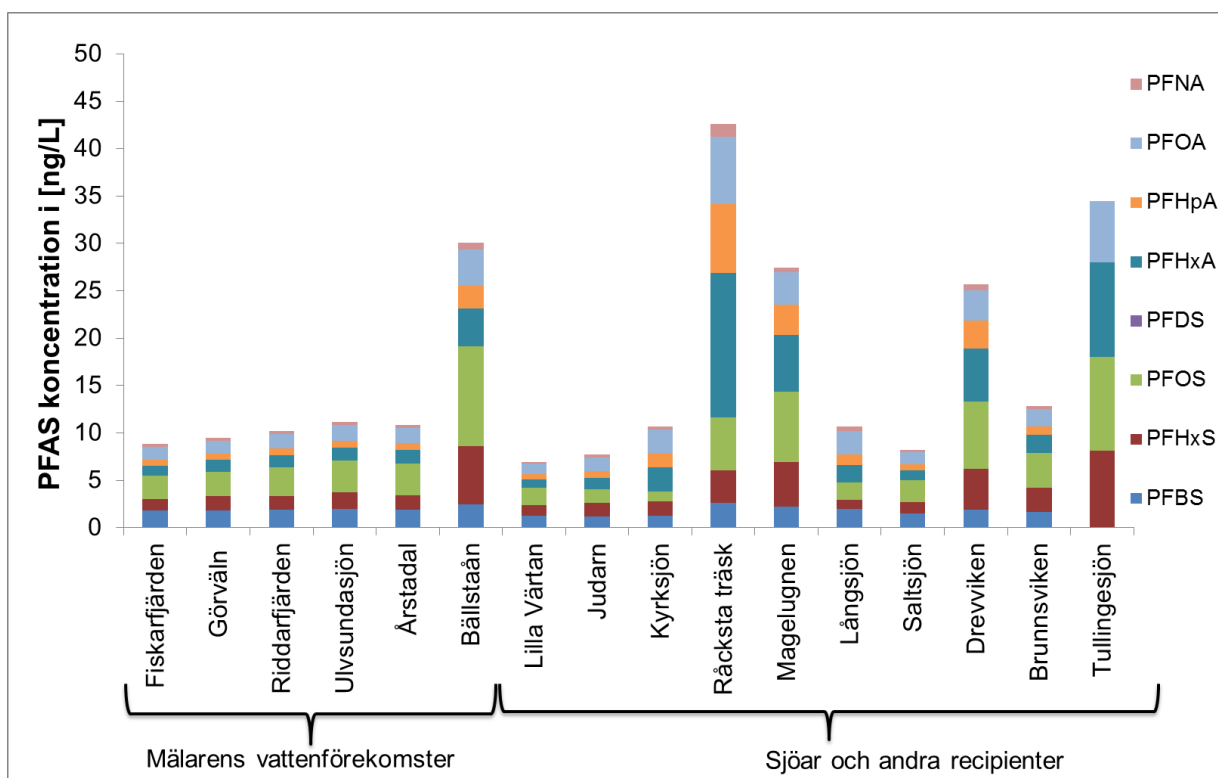
I COHIBA-studien påträffades PFAS i dagvatten, med trafik som trolig källa då avrinningsvatten härstammar från en högtrafikerad väg. Halterna varierade mellan PFHxA 5,1ng/l till 20 ng/l, PFOS 3,1 ng/l till 6,9 ng/l, PFOA 6,4 ng/l till 48 ng/l samt PFDA 1,1 ng/l till 20 ng/l (COHIBA, 2011; 2012).

Höga halter av PFAS har även påträffats i andra recipienter som Råcksta träsk, Magelungen och Drevviken, illustrerat i **Figur 12**. Den procentuella fördelningen av de undersökta PFAS är illustrerat i **Bilaga 4**. PFOS är den homolog som dominerar den procentuella fördelningen av PFAS i samtliga recipienter.

I dagsläget finns det endast en publicerad undersökning av PFOA och PFOS i sediment inom Stockholmsområdet (ITM, 2008). Proverna är tagna i Rosersbergviken där högre halter av PFAS har påträffats i ytvatten. I samtliga sedimentprov (n=3) var PFOA under rapporteringsgräns (LOD <0,05 ng/g torr substans (TS)), PFOS detekterades i två av tre prov i halter mellan <0,05 ng/g TS till 6,5ng/g TS (ITM, 2008).



Figur 11. Summan av åtta PFAS i ng/l uppmätta i ytvatten inom Stockholms stad mellan åren 2015 och 2016, grundvattenmagasin samt uttagkapacitet är illustrerade inom Stockholms stad.



Figur 12. Medelhalt av åtta PFAS i ng/l uppmätta i ytvatten inom Stockholms stad mellan år 2015 och 2016, Tullingesjön tillhör (Botkyrka kommun) och endast halterna av fyra PFAS: (PFHxA, PFOA, PFHxS samt PFOS) är illustrerade i figuren.

9. IDENTIFIERADE POTENTIELLA PFAS-KÄLLOR

Identifierade potentiella källområden samt transportvägar av PFOS/PFAS är presenterade i **Tabell 5**.

Tabell 5. Identifierade PFAS-källor, undersökningsgrad samt framtida analyser.

Identifierade källområden	Har dessa områden blivit undersökta?	Vilken matris behöver provtas och analyseras?
Kommunala brandövningsplatser	I dagsläget är informationen väldigt begränsad kring undersökningar av PFAS vid brandövningsplatser som är belägna inom Stockholms stad.	➤ Grundvatten ➤ Ytvatten ➤ Jord
Industriområden	Enligt Naturvårdsverket finns det flera potentiella PFAS föroreningskällor inom Mälarens avrinningsområde kopplade till Stockholms stad. Det förekommer inga undersökningar av PFAS vid dessa områden.	➤ Grundvatten ➤ Utgående vatten (om sådan förekommer vid källan). ➤ Jord
Atmosfäriskt nedfall	Mätningar av PFAS i atmosfäriskt nedfall har inte rapporterats i studier som omfattar Stockholm stad eller närliggande områden. Publicerad data finns från Råö södra Sverige (IVL, 2013b) och Krycklan norra Sverige (Filipovic et al., 2015b) och Norra Tyskland (Dreyer et al, 2010).	➤ Regn ➤ Snö ➤ Partikelbundet ➤ Kan även provats som ett samlingsprov.
Dagvattenavrinning (Stadsområde)	Undersökningar av dagvatten med avseende på PFAS är begränsat till en studie som omfattar Stockholms stad.	➤ Provtagning av dagvatten inom bebyggt stadsområde. ➤ Provtagning av dagvatten inom obebyggda områden.
Bällstaån-punktkälla (dag/grundvatten)	Undersökningar av Bällstaån har genomförts med avseende på PFAS i ytvatten. Området är identifierat som en potentiell källa till Bällstaviken/Ulvsundasjön och Mälaren.	➤ Provtagning av ytvatten. ➤ Provtagning av sediment. ➤ Utökade undersökningar av PFAS med högupplösande MS/MS samt totalfluoranalys. ➤ Flödes proportionerlig provtagning.
Jord	I dagsläget saknas det information kring bakgrundshalter av PFAS i jord inom Stockholms stad eller dess närliggande kommuner.	➤ Provtagning av jord i bebyggda områden ➤ Provtagning av jord i naturskyddsområden.
Deponier	I dagsläget saknas det information om PFAS urlakning från deponier som är i drift samt som är nedlagda inom Stockholms stad. Information kring dessa skulle kunna identifieras och illustreras i kartmaterial som finns i denna studie.	➤ Lakvatten från deponier.

10. SLUTSATSER OCH IDENTIFIERADE KUNSKAPSLUCKOR

Inom Stockholms stad har undersökningar kring PFAS fokuserat på förekomst i ytvatten, grundvatten och dricksvatten. Miljöförvaltningen i Stockholm var tidiga att med att utföra större undersökningar av PFAS i både grundvatten och ytvatten (Miljöförvaltningen, 2013, Miljöförvaltningen, 2016).

Miljöförvaltningens provtagning av grundvatten år 2011-2012 visar halter av PFOS och andra PFAS i Brunkebergsåsen överstiger de riktvärden, där åtgärder bör vidtas för att undvika att halterna stiger, som är uppsatta av SGI och Vattenmyndigheterna vilket är oroande. Brunkebergsåsen är Stockholms stads enda grundvattentäkt med potential att användas för utvinning av dricksvatten. Vid utvärdering av rapportens resultat av PFOS/PFAS år 2013 fanns det inga svenska riktvärden för PFOS eller PFAS i grundvatten/ dricksvatten, och därmed uteblev uppmärksamheten kring de högst uppmätta halterna som var upp till 1055 ng/l i grundvatten (Miljöförvaltningen, 2013). Mellan år 2011 till år 2016 har en stor utveckling inom svensk forskning och lagstiftning kring PFAS skett. År 2016 utformades det svenska riktvärden för jord, grundvatten och dricksvatten från flera myndigheter, SGI, Livsmedelsverket och Vattenmyndigheterna. Dessa riktvärden innefattar både PFOS och summan av PFAS-11 vilket gör det möjligt för myndigheter att göra bedömningar om uppmätta PFAS halter överstiger riktvärden samt om åtgärdsförberedande undersökningar bör sättas till.

Vi rekommenderar fortsatt provtagning av grundvatten inom miljöövervakningen med utökad analys av PFAS på de platser där höga halter PFOS/PFAS har påvisats inom vattenskyddsområden, för att undersöka om föroreningssituationen har ändrats sedan senaste provtagningen. Utvalda prov kan analyseras med utökade kemiska analyser av PFAS där fler PFAS ämnen analyseras samt kompletteras med ytterligare analyser som; TOF: total organisk fluor, eller så kallad TOP-assay som belyser förekomsten av PFAS-föreämnen (precursorer) som kan omvandlas till mätbara PFAS.

PFAS har detekterats i ytvatten i alla de vattenförekomster som har undersökts inom Stockholms stad. För PFOS, som är den vanligast förekommande PFAS, överstiger generellt halten i Mälaren och i andra provtagna vattenförekomster i Stockholm miljö kvalitetsnormen på 0,65 ng/l.

I föreliggande studie har flera områden främst brandövningsplatser vilka är påverkade av PFAS kartlagts inom Stor-Stockholm (**Tabell 6**). En av de identifierade recipienterna som har direkt påverkan på Mälaren och som är starkt påverkat av PFAS är Bällstaån. För att kartlägga och identifiera källorna till PFAS i Bällstaån föreslås utökade undersökningar genom simultan provtagning av ytvatten och sediment längst Bällstaån, PFAS analyser bör vara utökade där exempelvis isomerer av PFAS analyseras samt att TOF och TOP-assay inkluderas för analys av utvalda prov. Genom att utföra en utökad analys kan troligtvis de olika påverkningskällorna identifieras och separeras beroende på den "PFAS fingerprint" som erhålls med den utökade analysen. Ytvatten i både Tullingesjön och Roserberg (träsk/vik) förekommer högre halter PFAS än vad som detekteras i Mälaren. Både Tullingesjön och Rosersberg är tydligt påverkade av historiska utsläpp av brandsläckningsskum AFFF från brandövningar. Båda platserna kan även anses vara påtagliga transportvägar av PFAS förorenat vatten till respektive avrinningsbassäng i Mälaren. Då dessa

områden har identifierats som potentiella källor till Mälaren, bör utsläppen kvantifieras för att skapa ett eventuellt åtgärdsprogram för att minska läckaget av PFAS till Mälaren.

Tabell 6. Identifierade PFAS påverkade områden som leder till förorening av Mälaren inom Stockholms stad och närliggande kommuner.

Identifierade källområden	Hur har föroreningen uppkommit?
Bällstaån→Mälaren	Undersökningar av Bällstaån har genomförts med avseende på PFAS. PFAS-källan/källorna har ännu inte blivit identifierade.
Tullingesjön→Albysjön→Mälaren	Undersökningar har visat att påverkan från Tullingeåsen är från historisk användning av brandsläckningsskum typ AFFF vid militära brandsläcknings övningar vid flera olika platser inom f.d. Tullinge F 18. Om det finns potentiella påverkningskällor runt Albysjön är inte undersökt.
Roserberg→Mälaren	Undersökningar vid Rosersberg har genomförts med avseende på PFAS. Den identifierade PFAS källan är från historisk användning av brandsläckningsskum typ AFFF vid kommunala brandsläcknings övningar.

Det saknas primärt kunskap kring diffusa källor av PFAS så som spridning av PFAS via exempelvis regn och snö samt från ytvavrinning (dagvatten) för området inom Stockholms stad. Det saknas också inom samma område information om PFAS förekomst i jord. I dagsläget råder det också bristande kunskap kring PFAS föroreningsspridning i jord i områden med känslig markanvändning. I denna studie har kommunala brandövningsplatser samt potentiella PFAS-källor identifierade av Naturvårdsverket kartlagts och illustrerats tillsammans med avrinningsområden. Provtagning av jord inom både naturskyddsområden samt vid identifierade potentiella PFAS-källor skulle kunna ge en bättre bild av föroreningsspridningen samt bakgrunds nivåerna i jord. Med hjälp av information om PFAS i atmosfärisk deposition, dagvatten och jord skulle tillsammans med övriga uppmätta eller föreslagna parametrar i denna studie kunna ge möjligheten att utföra en total massbalans av PFAS inom Stockholms stad.

Stockholms stad är ständigt under utveckling och urbaniseringen inom kommunen och närliggande kommuner är en pågående process. I och med att Stockholms stad växer är det viktigt att samla in bakgrundsinformation kring organiska miljögifter som till exempel PFAS och nya PFAS-förämnar (precursorer) som kan bli högprioritetskemikalier inom en snar framtid. I denna rapport har vi identifierat kunskapsluckor gällande PFAS-källor och förekomst i miljön i Stockholms stad, samt identifierat undersökningar som fordras för att komplettera dessa för att kunna ge en mer komplett bild av PFAS transport och öde inom Stockholm stads område. Upprättandet av en massbalans för PFAS skulle ge en helhetlig bild över den rådande föroreningssituationen.

11. REFERENSER

Borg, D., Lund, B.-O., Lindquist, N.-G., Håkansson, H. (2013). Cumulative health risk assessment of 17 perfluoroalkylated and polyfluoroalkylated substances (PFASs) in the Swedish population. *Environment International*, 59:112–123.

Bjerking, (2015). PM Inventering av källor till PFAS inom Bällstaåns tillrinningsområde.

COHIBA, (2011). WP3 National Report Sweden. Cohiba, 1-50.

COHIBA, (2012). Summary report SWEDEN - Work package 4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea. Cohiba, 1-433.

Dreyer, A., Matthias, V., Weinberg, I., Ebinghaus, R. (2010). Wet deposition of poly- and perfluorinated compounds in Northern Germany. *Environmental Pollution*, 158, 1221–1227.

ECHA, (2014), ANNEX XV PROPOSAL FOR A RESTRICTION – Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances.

Filipovic, M., Berger, U., McLachlan, M., S. (2013). Mass Balance of Perfluoroalkyl Acids in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology*, 47 (9): 4088-4095.

Filipovic, M. (2014). LMNT-Nytt, 2014SSN 1402-00412014:1 april RIKSFÖRENINGEN FÖR LÄRARNAS I MATEMATIK, NATURVETENSKAP OCH TEKNIK:
https://www.researchgate.net/publication/268485801_PFOA_och_PFOS_nya_miljogifter_i_dricksvat_ten_Fran_sommarskola_till_nyheter_och_forandringar_i_vara_regelverk

Filipovic, M., Laudon, H., McLachlan, M., S., Berger, U. (2015a) Mass Balance of Perfluorinated Alkyl Acids in a Pristine Boreal Catchment. *Environmental Science & Technology*, 49 (20): 12127-12135.

Filipovic, M., Woldegiorgis, A., Norström, K., Bibi, M., Lindberg, M., Österås, A.-H. (2015b). Historical usage of aqueous film forming foam: A case study of the widespread distribution of perfluoroalkyl acids from a military airport to groundwater, lakes, soils and fish. *Chemosphere*, 129: 39–45.

Filipovic, M., Berger, U. (2015c). Are perfluoroalkyl acids in waste water treatment plant effluents the result of primary emissions from the technosphere or of environmental recirculation? *Chemosphere*, 129: 74–80.

Fletcher, T., Galloway, T. S., Melzer, D., Holcroft, P., Cipelli, R., Pilling, L., C., Mondal, D., Luster, M., Harries, L.W. (2013). Associations between PFOA, PFOS and changes in the expression of genes involved in cholesterol metabolism in humans. *Environment International*, 57–58:2–10.

Giesy, J., P., Kannan, K. (2002). Perfluorochemical Surfactants in the Environment. Environmental Science & Technology, 36: 147A-152A.

Higgins, C., P., Luthy, R., G. (2006). Sorption of Perfluorinated Surfactants on Sediments. Environmental Science & Technology, 40: 7251-7256.

HVM, (2013). Havs- och vattenmyndighetens författningssamling 2013:19. Elektronisk utgåva, 2015-05-01, bilaga 6.

Holmström, K., S. Wetterstrand, and G. Hedenberg. (2014). Nationalscreening of perfluorinated pollutants (PFAA) in drinking water. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr 2014-20, Bromma, Sweden (in Swedish, English summary).

Holmquist, H., Schellenberger, S., van der Veen, I., Peters, G., M., Leonards, P., E., G., Cousins, I., T. (2016). Properties, performance and associated hazards of state-of-the-art durable water repellent (DWR) chemistry for textile finishing, Environment International, Volume 91, 251-264.

ITM, (2008). Biotillgänglighet och toxicitet av PFAS kontaminerade sediment från Mälaren. <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=93674>

IVL, (2013a). Nationell Miljöövervakning – Luft. IVL Rapport B 2109.

IVL, (2013b). Årsrapport 2012 för projektet RE-PATH. IVL Rapport B 2148.

KEMI/Livsmedelsverket, (2013). Brandskum som möjlig förorenare av dricksvattentäkter.

KEMI, (2015). Förekomst och användning av högfluorerade ämnen och alternativ, RAPPORT 6/15.

Knepper, T., Lange, F. (2012). Polyfluorinated Chemicals and Transformation Products. The Handbook of Environmental Chemistry, Volume 17. ISBN: 978-3-642-21871-2.

Lindim, C., Cousins, I., T., van Gils, J. (2015). Estimating emissions of PFOS and PFOA to the Danube River catchment and evaluating them using a catchment-scale chemical transport and fate model, Environmental Pollution, 207: 97-106.

Länsstyrelsen i Stockholm, (2016). Personlig kommunikation, Fredric Hellberg.

Miljöförvaltningen, (2013). Grundvatten i Stockholm 2011-2012.

Miljöförvaltningen, (2016). Personlig kommunikation Maria Pettersson.

Miljöförvaltningen, (2016). Digitalt underlag för tekniska avrinningsområden.

Miljömål, (2016). <http://www.miljomal.se/>

Naturvårdsverket, (2003). Ingen övergödning: Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Stockholm: Naturvårdsverket. Rapport 5319.

Naturvårdsverket, (2016). Högfluorerade ämnen (PFAS) och bekämpningsmedel. En sammantagen bild av förekomsten i miljön. Redovisning av ett regeringsuppdrag. Rapport 6709.

SGI, (2015). Pettersson, M., Ländell, M., Ohlsson, Y., Berggren Kleja, D., Tiberg, C., Preliminära riktvärden för högfluorerade ämnen (PFAS) i mark och grundvatten . Statens geotekniska institut, SIG, Publikation 21, Linköping.

SLV, (2016). "Risker vid förorening av dricksvatten med PFAS". Riskhanteringsrapport, 2016-02- 29. <http://www.livsmedelsverket.se/globalassets/produktion-handel-kontroll/produktion-livsmedel/dricksvatten/riskhanteringsrapport-pfas-160229.pdf>

Stockholm Vatten, (2016). Miljörapport 2015.

Stockholms stad, (2015). Dagvattenstrategi – Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering. Antagen av Kommunfullmäktige 2015-03-09

Stockholms universitet, (2011). Miljögifter i dricksvatten – ett dolt problem för många kommuner? <http://www.forskning.se/2011/11/01/miljogifter-i-dricksvatten-ett-dolt-problem-for-manga-kommuner/>

Tyréns, (2016). Källspårning av PFAS i Bällstaån.

Ullah, S., Alsberg, T., Berger, U. (2011). Simultaneous determination of perfluoroalkyl phosphonates, carboxylates, and sulfonates in drinking water. Journal of Chromatography A, 37: 6388-6395.

Vattenmyndigheterna, (2016). Vattenmyndighetens förslag till riktvärde och utgångspunkt för att vända trend för PFAS i grundvatten. Föredragshållare: Carola Lindeberg, Vattenmyndigheten. Nätverksmöte kring PFAS, 24 november 2016. Arrangör: Kemikalieinspektionen

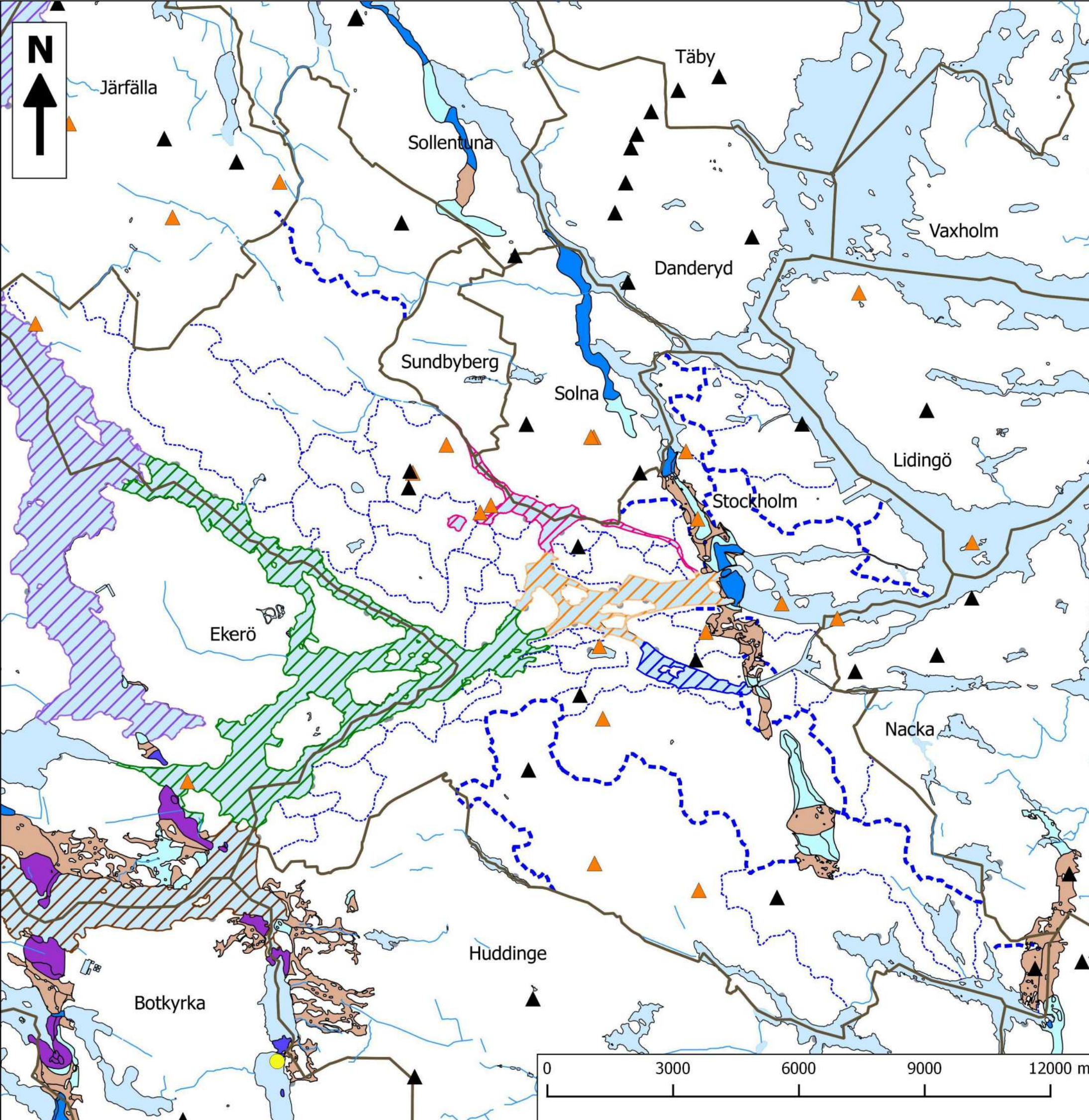
Wang, Z., Cousins, I., T., Scheringer, M., Buck, R., C., K.Hungerbühler, K. (2014). Global emission inventories for C4–C14perfluoroalkyl carboxylic acid (PFCA) homologues from 1951 to2030, part I: Production and emissions from quantifiable sources. Environment International, 70: 62–75.

WSP, (2015). Miljögiftsövervakning av ytvatten och fisk i Stockholms stad – sammanställning för år 2014 Miljöförvaltningen, Stockholms stad.

2013/39/EU, (2013). Europaparlamentets och rådets direktiv 2013/39/EU om ändring av direktiven 2000/60/EG och 2008/105/EG vad gäller prioriterade ämnen på vattenpolitikens område.

Bilaga 1

Sammanställning vattenförekomster inom
Stockholms stad



Teckenförklaring

- ▲ Kommunala brandövningsplatser
- ▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]
- Kommungränser
- Ytvattendrag
- - - Huvudgrundvattendelare
- - - Lokal grundvattendelare

Kapacitet i grundvattenmagasin [SGU]

- <1 l/s (< ca 80 m³/d)
- 1-5 l/s (ca 80-400 m³/d)
- 5-25 l/s (ca 400-2 000 m³/d)
- 25-125 l/s (ca 2 000-10 000 m³/d)
- > 125 l/s (ca > 10 000 m³/d)

Bassänger i Östra Mälaren

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görväln
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken

NIRÅS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

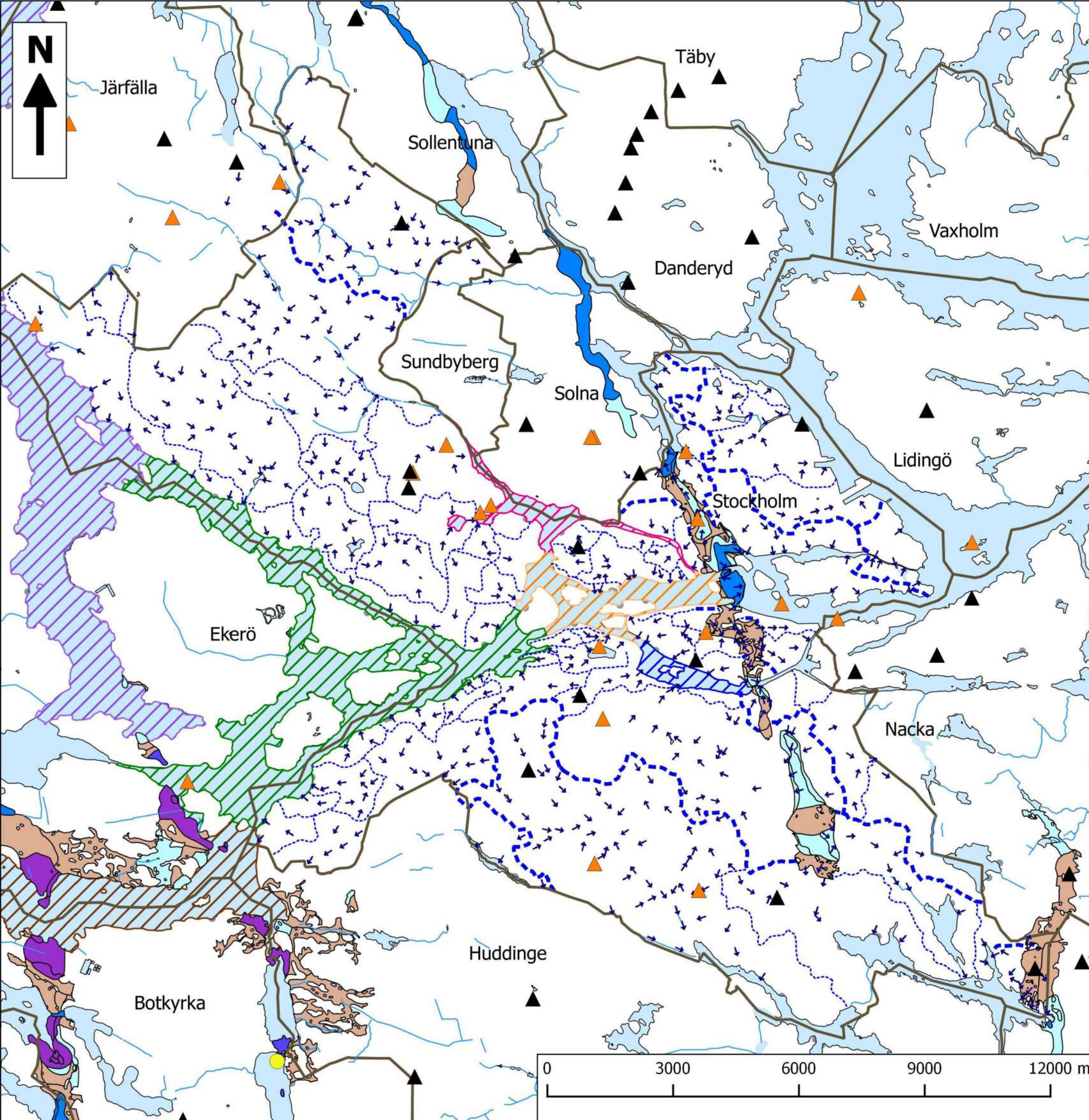
Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER 5001527	RITAD/KONSTR AV Johan Edvinsson	HANDLÄGGARE Marko Filipovic
DATUM 2016-12-06	UPPDRAGSLEDARE Marko Filipovic	

Grundvattenkarta över Stockholm Stad med potentiella PFAS-källor

© Stockholm Stad, Lantmäteriet, SGU

SKALA 1:90 000	NUMMER	BET
-------------------	--------	-----



Teckenförklaring

- ▲ Kommunala brandövningsplatser
- ▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]
- Kommungränser
- Ytvattendrag

- Huvudgrundvattendelare
- Lokal grundvattendelare
- ➔ Grundvattnets strömningsriktning

Kapacitet i grundvattenmagasin [SGU]

- <1 l/s (< ca 80 m³/d)
- 1-5 l/s (ca 80-400 m³/d)
- 5-25 l/s (ca 400-2 000 m³/d)
- 25-125 l/s (ca 2 000-10 000 m³/d)
- > 125 l/s (ca > 10 000 m³/d)

Bassänger i Östra Mälaren

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görvål
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken

NIRÅS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER 5001527	RITAD/KONSTR AV Johan Edvinsson	HANDLÄGGARE Marko Filipovic
DATUM 2016-12-06	UPPDRAGSLEDARE Marko Filipovic	

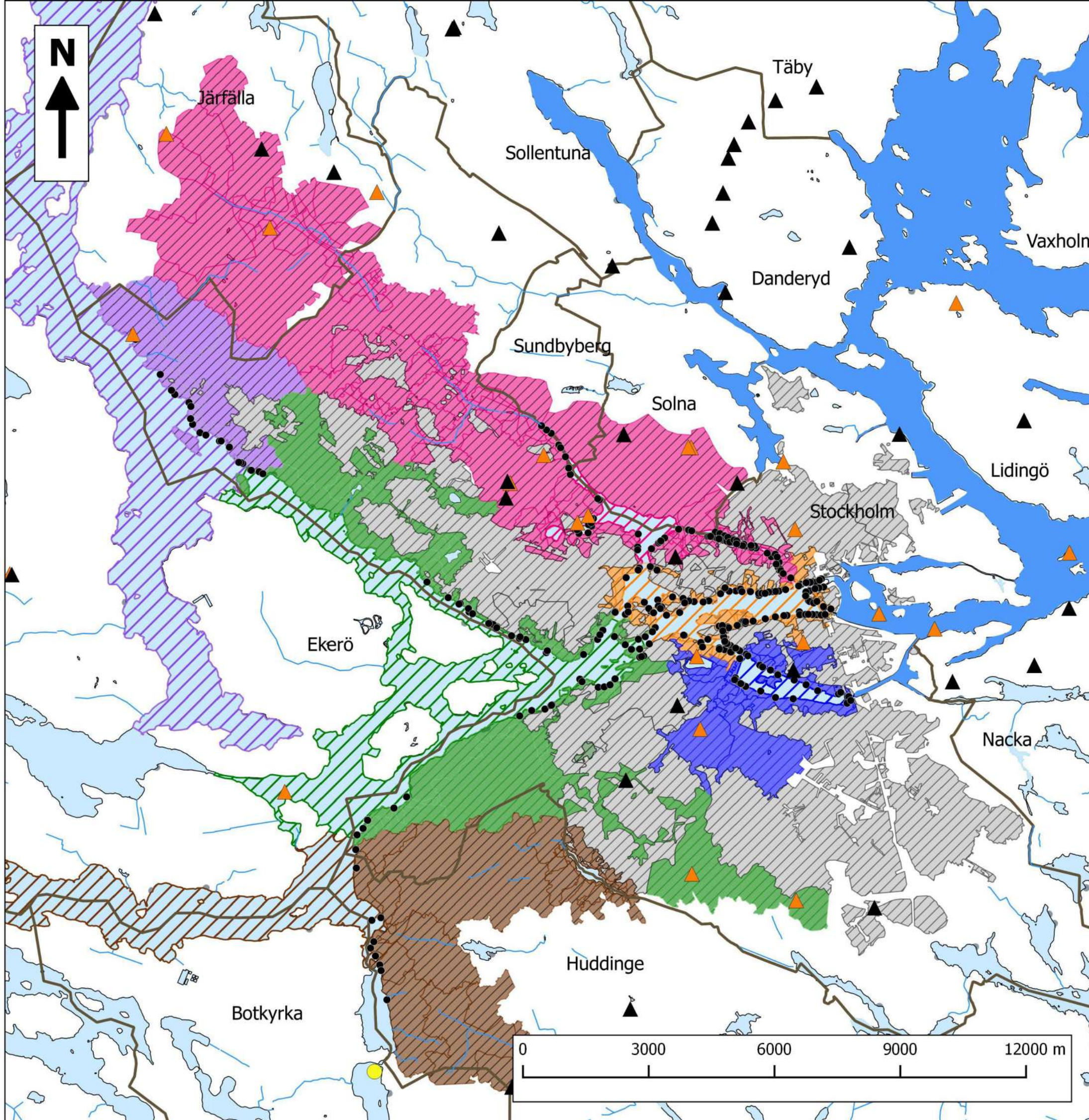
Grundvattenkarta över Stockholm Stad med potentiella PFAS-källor

© Stockholm Stad, Lantmäteriet, SGU

SKALA 1:90 000	NUMMER	BET
-------------------	--------	-----

Bilaga 2

Dagvatten avrinning i Stockholms stad



Teckenförklaring

- Utloppspunkter för Dagvatten
- ▲ Kommunala brandövningsplatser
- ▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]
- Ytvattendrag
- Kommungränser

- Sötvatten
- Salt- och bräckvatten

Bassänger i Östra Mälaren

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görväln
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken

Avrinningsomåden Dagvatten Stockholm Stad

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görväln
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken
- Dagvatten till Reningsverk

NIRAS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER
5001527

RITAD/KONSTR AV
Johan Edvinsson

HANDLÄGGARE
Marko Filipovic

DATUM
2016-12-06

UPPDRAGSLEDARE
Marko Filipovic

Dagvattenkarta för Mälaren, Stockholm Stad

© Stockholm Stad, Lantmäteriet

SKALA
1:90 000

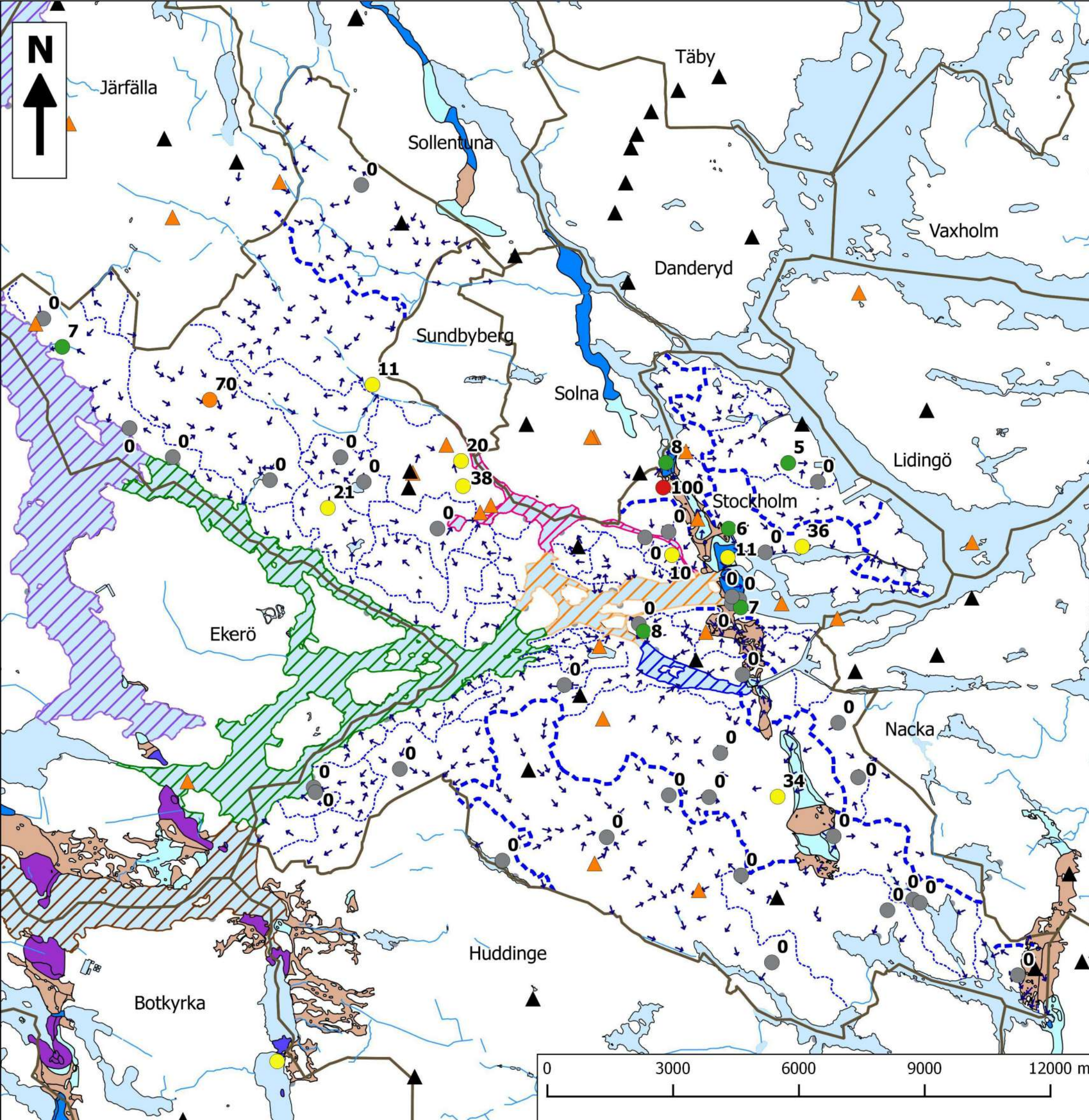
NUMMER

BET

0 3000 6000 9000 12000 m

Bilaga 3

PFOS/PFAS halter i grundvatten inom
Stockholms stad



Teckenförklaring

PFOS i grundvatten [ng/l]

- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 45
- 45 - 90
- > 90

▲ Kommunala brandövningsplatser

▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]

□ Kommungränser

— Ytvattendrag

--- Huvudgrundvattendelare

--- Lokal grundvattendelare

→ Grundvattnets strömningsriktning

Kapacitet i grundvattenmagasin [SGU]

- <1 l/s (< ca 80 m³/d)
- 1-5 l/s (ca 80-400 m³/d)
- 5-25 l/s (ca 400-2 000 m³/d)
- 25-125 l/s (ca 2 000-10 000 m³/d)
- > 125 l/s (ca > 10 000 m³/d)

Bassänger i Östra Mälaren

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görvål
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken

NIRÅS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER
5001527

RITAD/KONSTR AV
Johan Edvinsson

HANDLÄGGARE
Marko Filipovic

DATUM
2016-12-06

UPPDRAGSLEDARE
Marko Filipovic

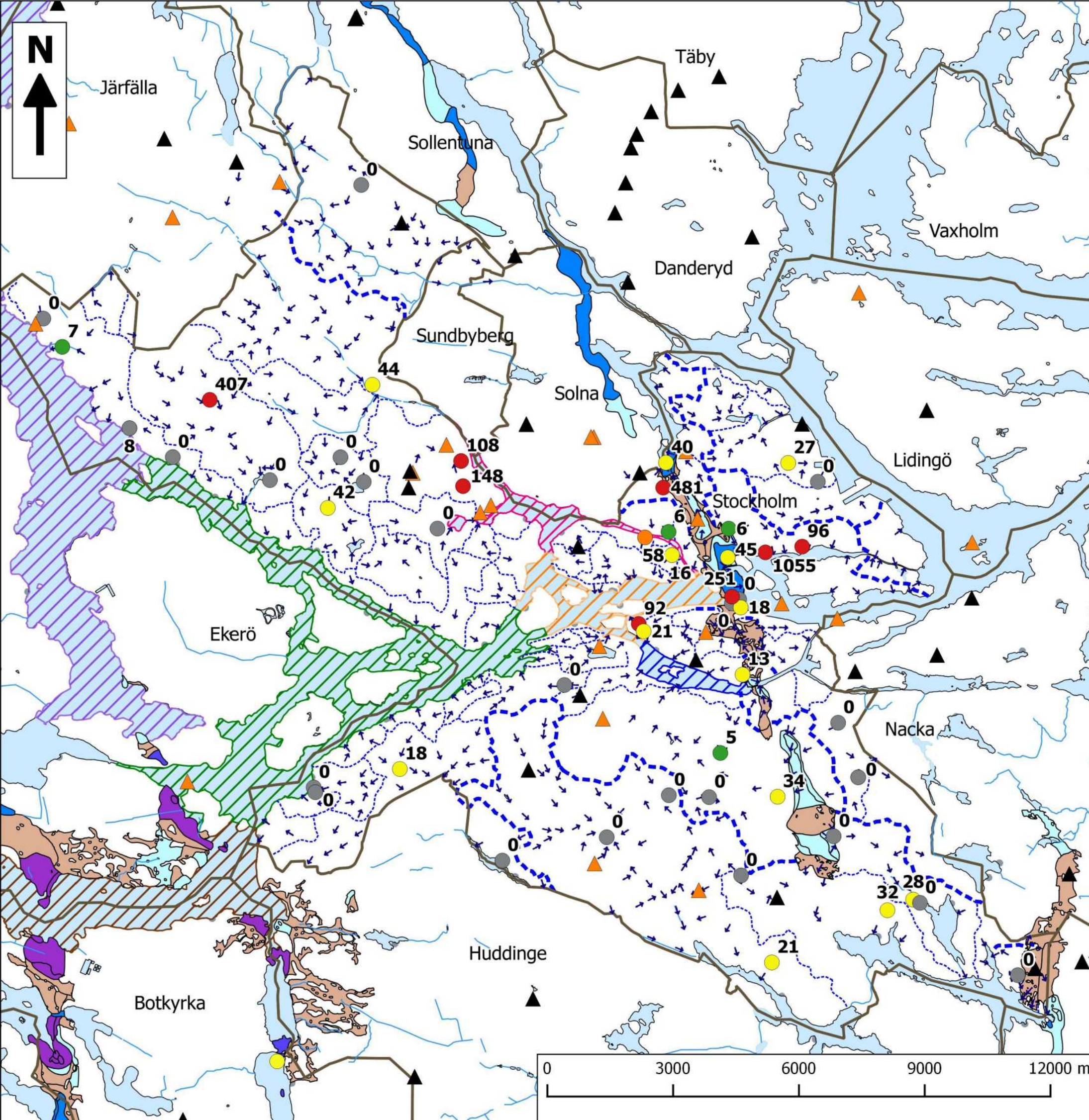
PFOS i grundvatten inom Stockholm Stad

© Stockholm Stad, Lantmäteriet, SGU

SKALA
1:90 000

NUMMER

BET



Teckenförklaring

PFAS i grundvatten [ng/l]

- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 45
- 45 - 90
- > 90

- ▲ Kommunala brandövningsplatser
- ▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]
- Kommungränser
- Ytvattendrag

- Huvudgrundvattendelare
- Lokal grundvattendelare
- Grundvattnets strömningsriktning

Kapacitet i grundvattenmagasin [SGU]

- <1 l/s (< ca 80 m³/d)
- 1-5 l/s (ca 80-400 m³/d)
- 5-25 l/s (ca 400-2 000 m³/d)
- 25-125 l/s (ca 2 000-10 000 m³/d)
- > 125 l/s (ca > 10 000 m³/d)

Bassänger i Östra Mälaren

- Mälaren-Fiskarfjärden
- Mälaren- Görvål
- Mälaren-Riddarfjärden
- Mälaren-Rödstensfjärden
- Mälaren-Ulvsundasjön
- Mälaren-Årstaviken

NIRAS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

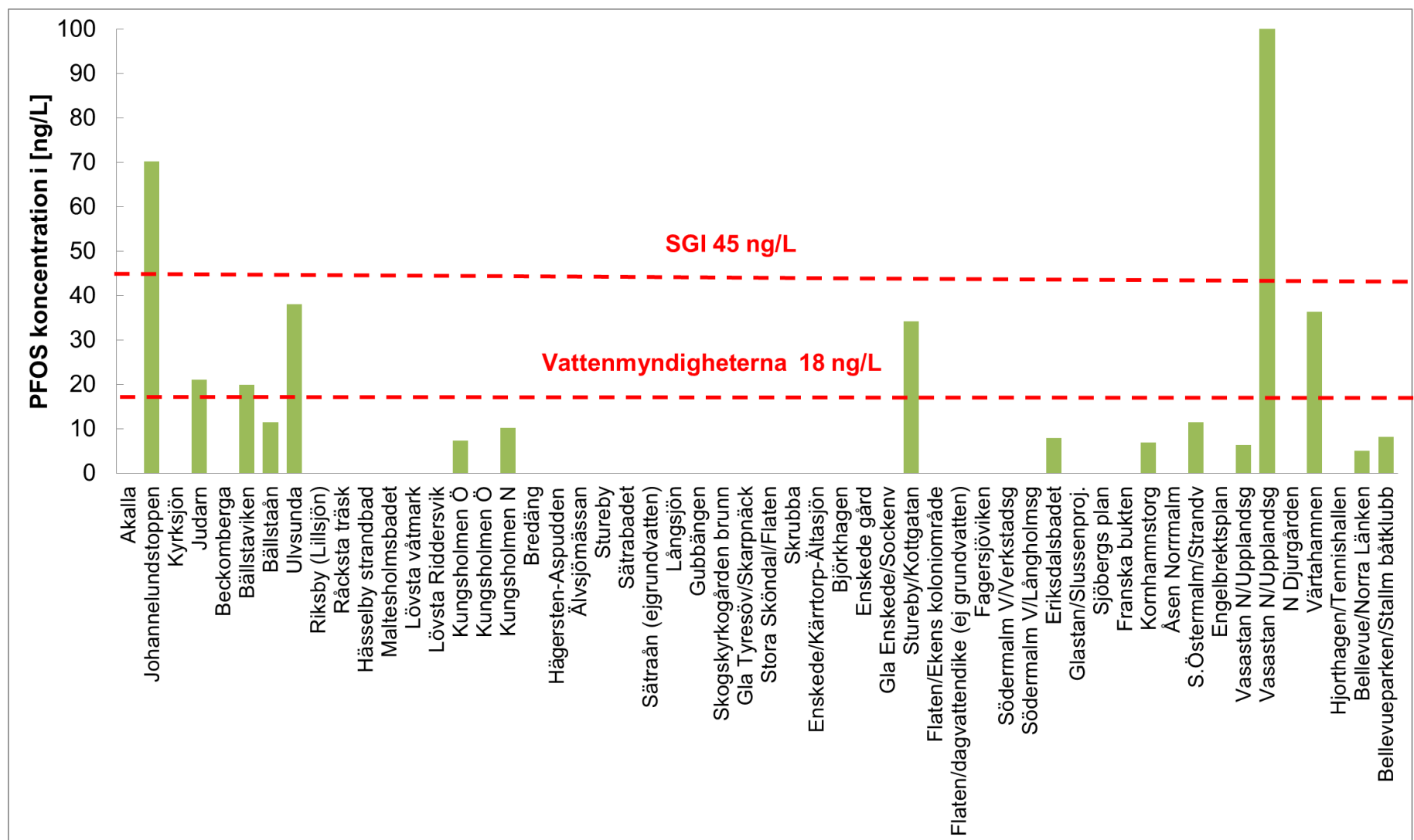
Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER 5001527	RITAD/KONSTR AV Johan Edvinsson	HANDLÄGGARE Marko Filipovic
DATUM 2016-12-06	UPPDRAGSLEDARE Marko Filipovic	

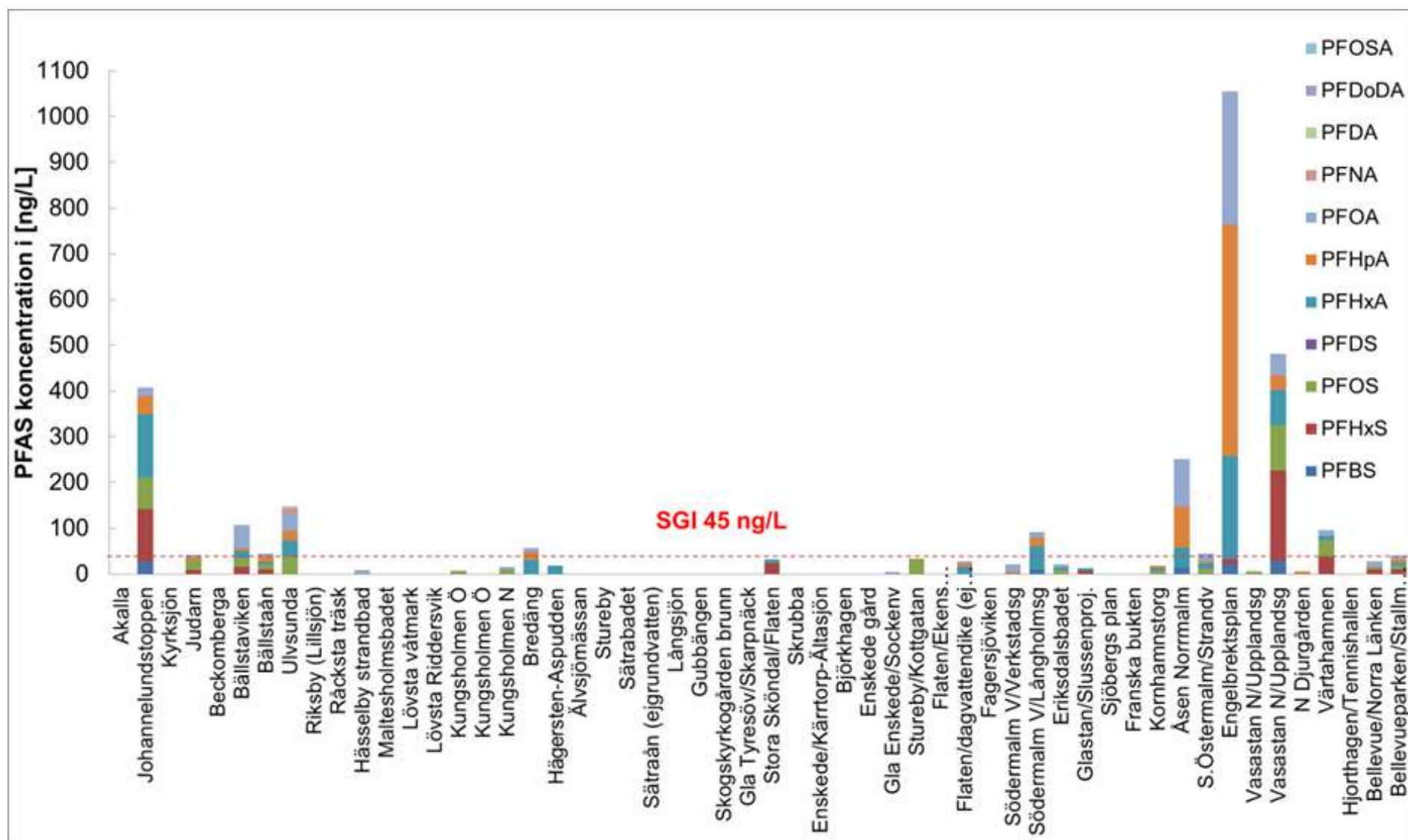
PFAS i grundvatten inom Stockholm Stad

© Stockholm Stad, Lantmäteriet, SGU

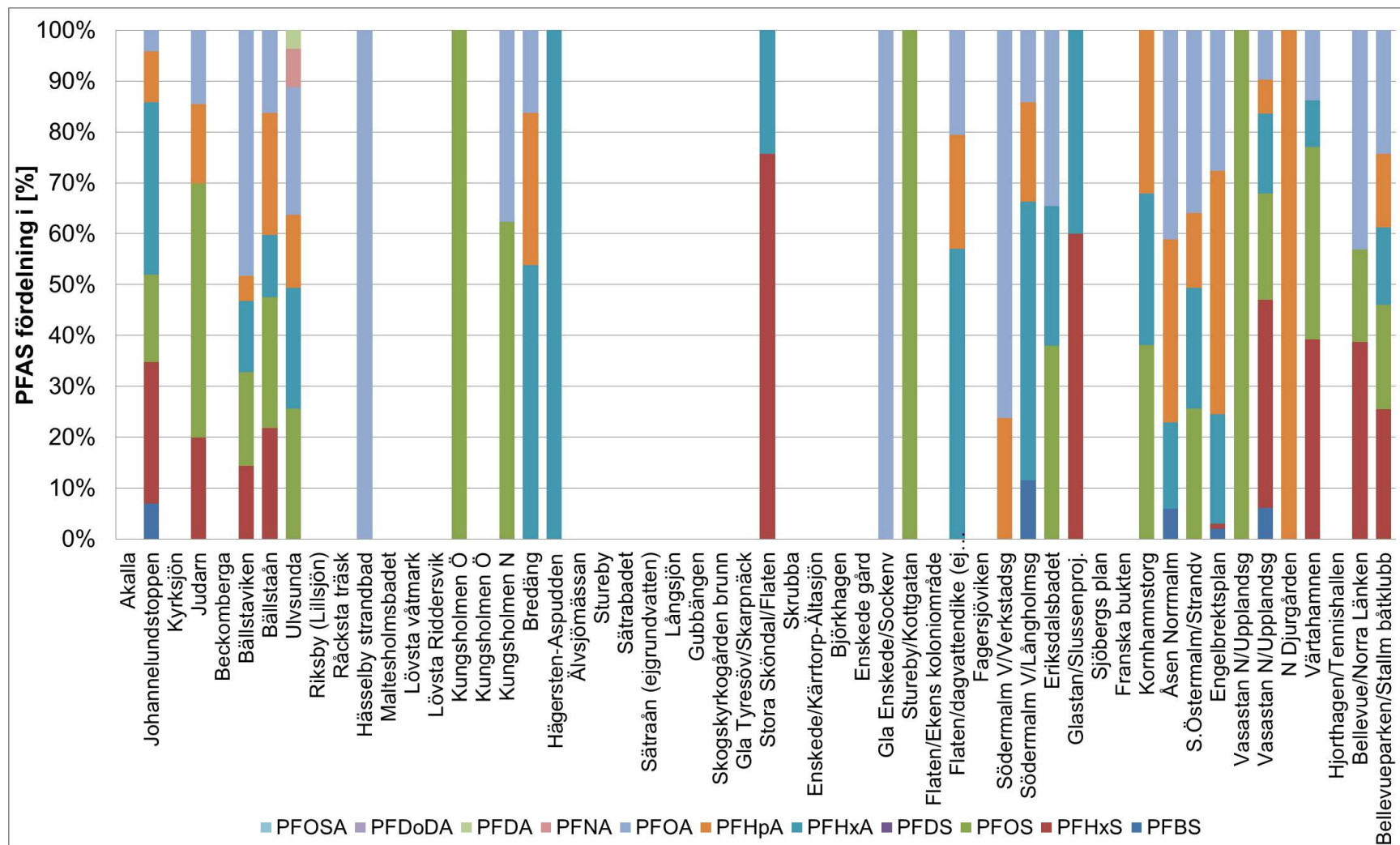
SKALA 1:90 000	NUMMER	BET
-------------------	--------	-----



Figur. PFOS i ng/l uppmätt i grundvatten inom Stockholms stad, SGIs och Vattenmyndigheternas riktvärden är illustrerade med streckade röda linjer, alla staplar som är över de röda streckade linjerna överstiger de uppsatta riktvärdena.



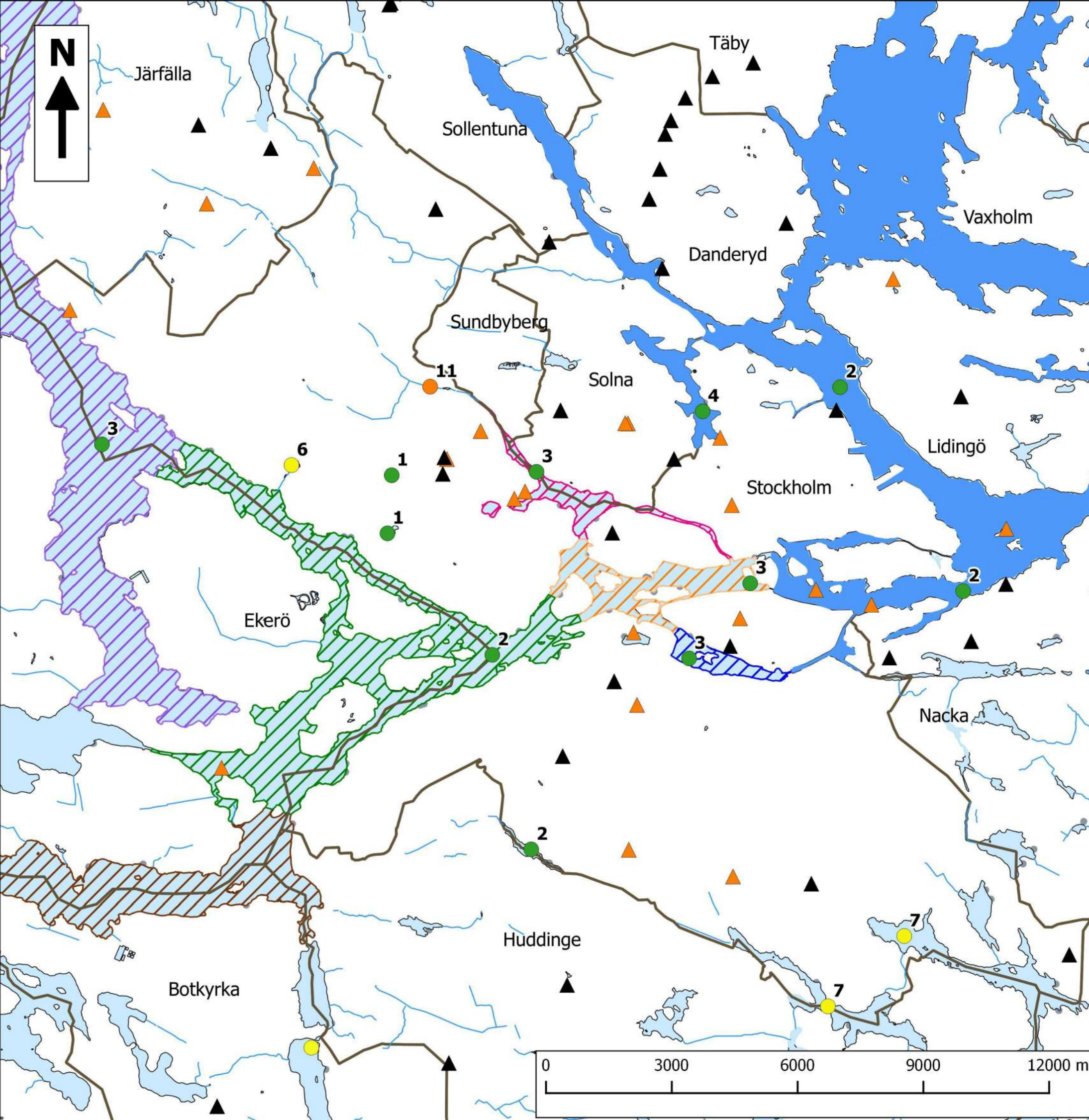
Figur. Elva PFAS i ng/l uppmätta vid ett tillfälle i grundvatten inom Stockholms stad mellan åren 2011 och 2012. Livsmedelsverkets riktvärde för dricksvatten är illustrerad med streckade röda linjer.



Figur: Den procentuella fördelningen av elva PFAS i grundvatten inom Stockholms stad.

Bilaga 4

PFOS/PFAS halter i ytvatten i Mälaren och
omgivande recipienter inom Stockholms stad



Teckenförklaring

PFOS i ytvatten [ng/l]

● 0 - 1

● 1 - 5

● 5 - 10

● 10 - 50

● > 50

▲ Kommunala brandövningsplatser

▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]

□ Kommungränser

— Ytvattendrag

□ Sötvatten

■ Salt- och bräckvatten

Bassänger i Östra Mälaren

▨ Mälaren-Fiskarfjärden

▨ Mälaren- Görväln

▨ Mälaren-Riddarfjärden

▨ Mälaren-Rödstensfjärden

▨ Mälaren-Ulvsundasjön

▨ Mälaren-Årstaviken

NIRAS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER
5001527

RITAD/KONSTR AV
Johan Edvinsson

HANDLÄGGARE
Marko Filipovic

DATUM
2016-12-06

UPPDRAGSLEDARE
Marko Filipovic

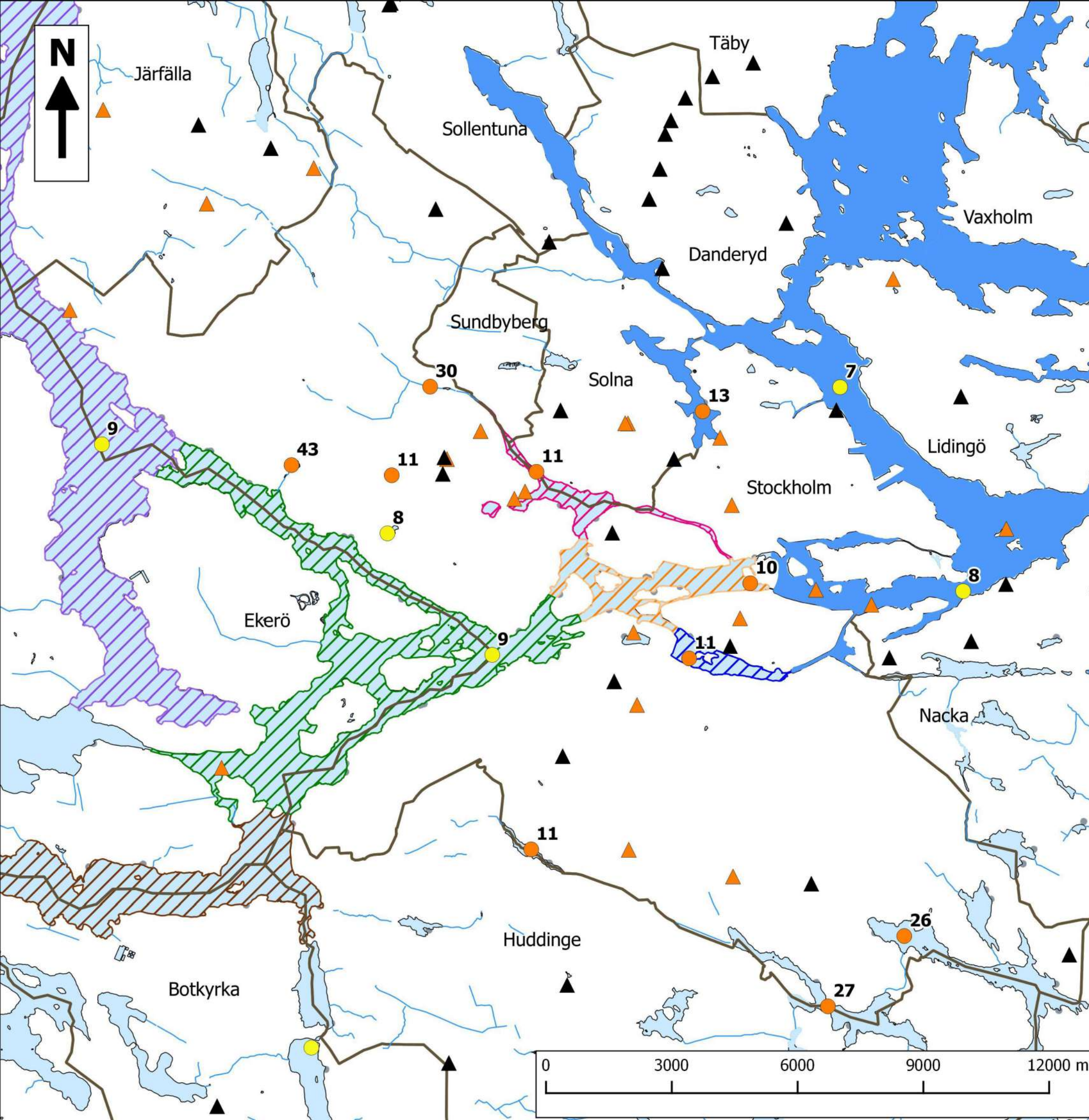
PFOS i ytvatten inom Stockholm Stad

© Stockholm Stad, Lantmäteriet

SKALA
1:90 000

NUMMER

BET



Teckenförklaring

PFAS i ytvatten [ng/l]

● 0 - 1

● 1 - 5

● 5 - 10

● 10 - 50

● > 50

▲ Kommunala brandövningsplatser

▲ Övriga potentiella PFAS-källor [Naturvårdsverket]

□ Kommungränser

— Ytvattendrag

□ Sötvatten

■ Salt- och bräckvatten

Bassänger i Östra Mälaren

▨ Mälaren-Fiskarfjärden

▨ Mälaren- Görvåln

▨ Mälaren-Riddarfjärden

▨ Mälaren-Rödstensfjärden

▨ Mälaren-Ulvsundasjön

▨ Mälaren-Årstaviken

NIRAS

Fleminggatan 14, 9 TR
112 26 Stockholm

Tel: 08-545 533 00
Fax: 08-545 533 33

UPPDRAGSNUMMER
5001527

RITAD/KONSTR AV
Johan Edvinsson

HANDLÄGGARE
Marko Filipovic

DATUM
2016-12-06

UPPDRAGSLEDARE
Marko Filipovic

PFAS i ytvatten inom Stockholm Stad

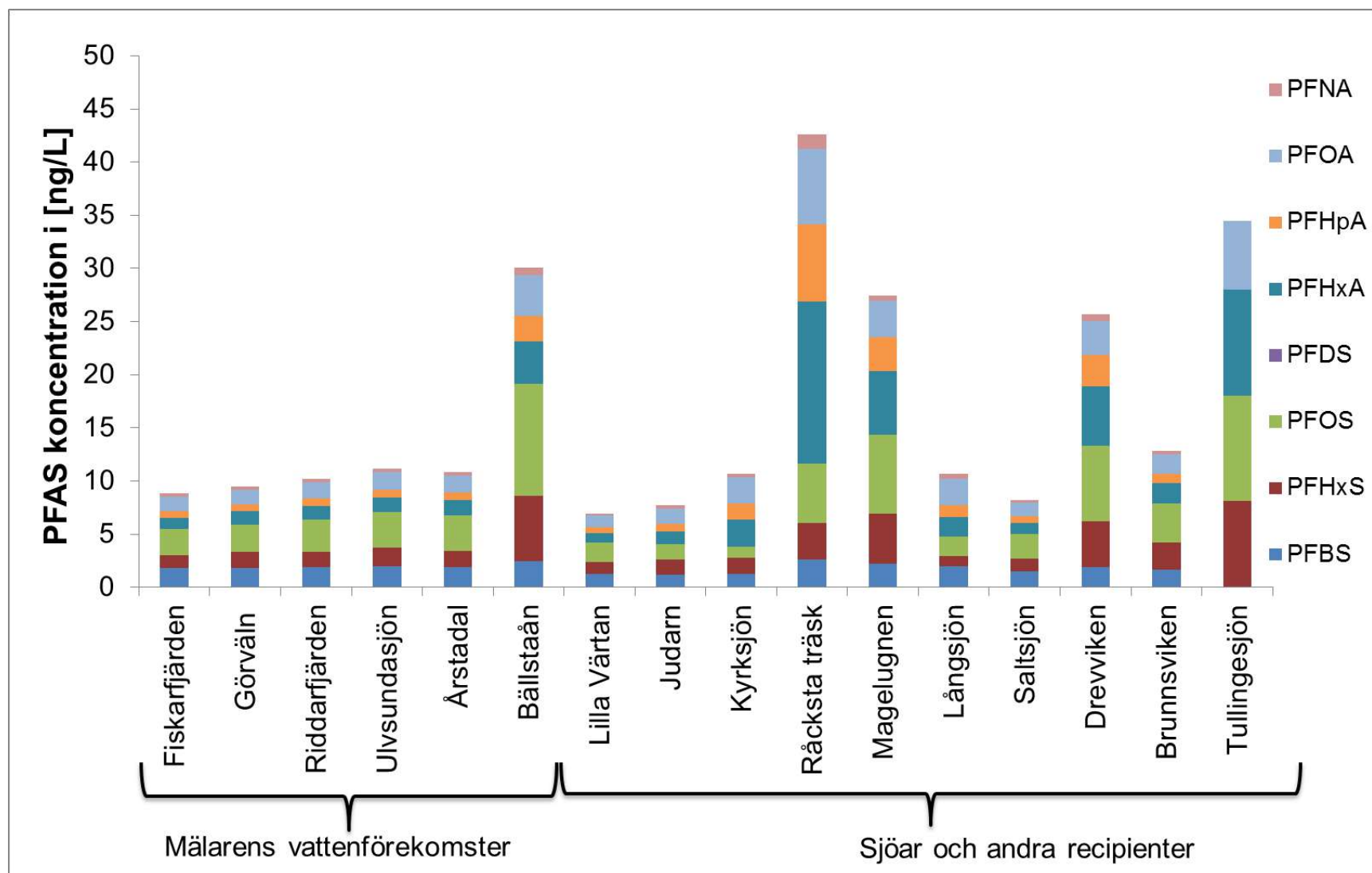
© Stockholm Stad, Lantmäteriet

SKALA
1:90 000

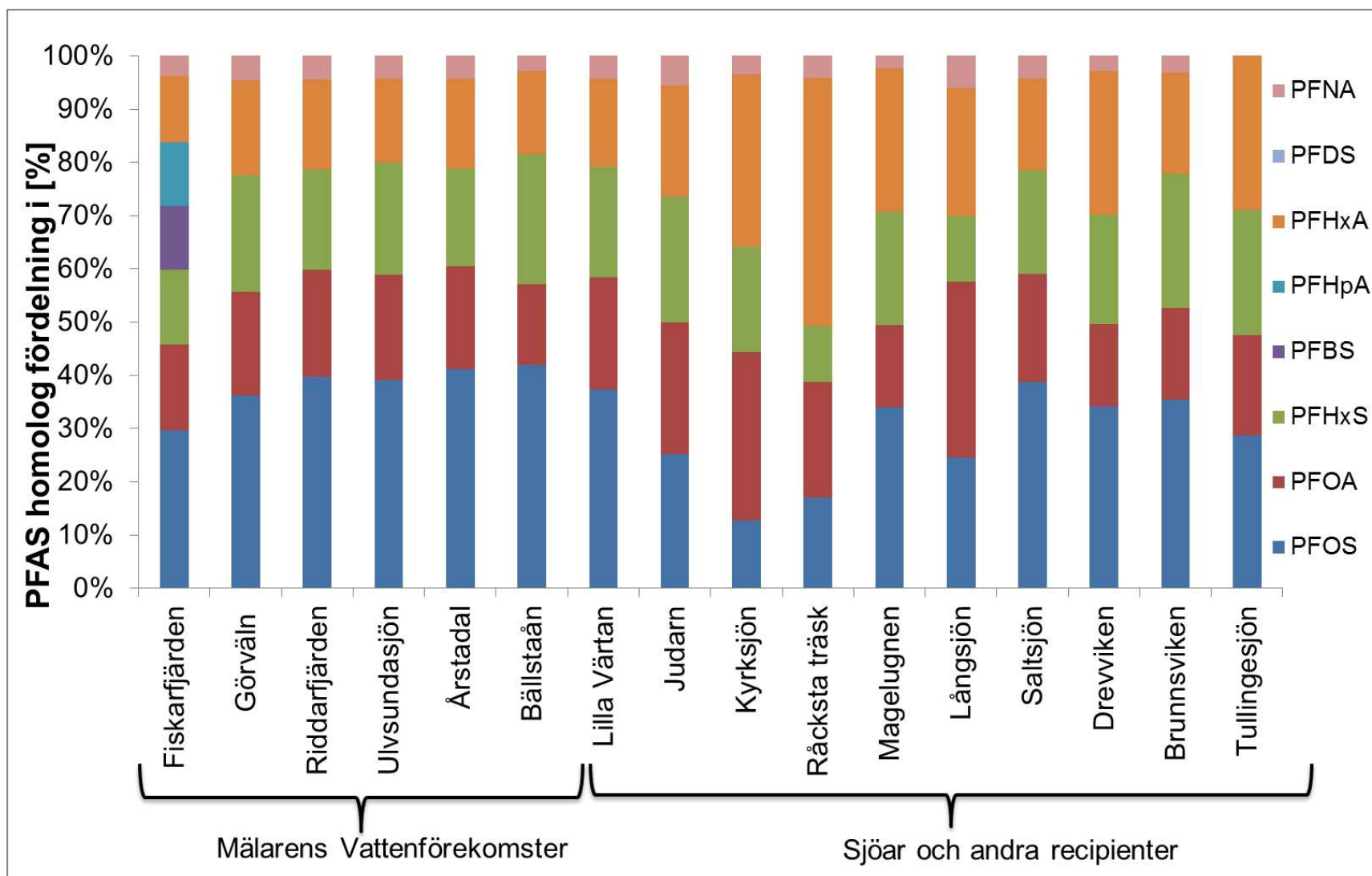
NUMMER

BET

0 3000 6000 9000 12000 m



Figur: Summan av åtta PFAS i ng/l uppmätta i ytvatten inom Stockholms stad, Tullingesjön tillhör (Botkyrka kommun) och halterna av fyra PFAS: (PFHxA,PFOA,PFHxS samt PFOS) är illustrerade i figuren.



Figur: Den procentuella fördelningen av åtta PFAS i ytvatten inom Stockholms stad, Tullingesjön tillhör (Botkyrka kommun) och fördelningen av fyra PFAS: (PFHxA,PFOA,PFHxS samt PFOS) är illustrerade i figuren.