



Grundvatten i Stockholm 2011-2012

Miljöförvaltningen
2013



Stockholms
stad

Grundvatten i Stockholm 2011-2012

November 2013

Dnr:2012-16634

ISBN: 978-91-85125-49-4

Utgivningsdatum: 2013-11-12

Utgivare: Miljöförvaltningen

Kontaktperson: Enheten för Miljöanalys, Tonie Wickman

Produktion: Miljöförvaltningen i Stockholm

Distributör: Miljöförvaltningen i Stockholm

Omslagsfoto: Tonie Wickman

FÖRORD

Miljöförvaltningen bedriver regelbunden miljögiftsövervakning i grundvatten. Syftet är att bevaka stadens kemiska belastning på mark eftersom grundvatten visar belastning för ett större område jämfört med heterogena markprov. Ämnen som återfinns i grundvattnet är sådana som transporteras och kan nå sjöar och vattendrag. Rapporten Grundvatten i Stockholm 2011-2012 har tagits fram som en del i Stockholms stads miljöövervakning kopplat till stadens vattenprogram, Program för Stockholms vattenarbete 2006-2015. I vattenprogrammet finns ett övergripande mål om att grundvattnets kvalitet ska bevaras eller förbättras. För att följa tillståndet behöver staden undersöka kvaliteten regelbundet.

En utgångspunkt för undersökningen har varit de två undersökningar som staden genomfört tidigare, 1996/1997 och 2003/2004. I den mån det varit möjligt har samma provtagningspunkter valts som vid de två tidigare undersökningarna. Komplettering med nya punkter har gjorts för att få ett större dataunderlag och få så jämn geografisk spridning som möjligt. Valet av ämnen att undersöka har i huvudsak varit desamma som vid tidigare undersökningar men kompletterats med ett antal organiska miljögifter som upptäckts i andra grundvattenundersökningar från andra delar av landet eller i andra länder. I bilaga 2 finns en NIRAS-rapport där resultaten från de tre grundvattenundersökningarna kvalitetsgranskats och jämförts.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att halterna i flera fall gått ner i 2012 års mätning. Dock visar de nya ämnen som analyserats inte sällan höga halter i flera mätpunkter. Trots positiva tendenser kan man därför inte generellt påstå att grundvattenkvaliteten förbättrats. Det visar att det finns ett behov av att även i kommande grundvattenundersökningar mäta många ämnen på många platser och att så långt det är möjligt behålla tidigare använda mätpunkter, om trender ska utläsas.

Det är Tonie Wickman vid miljöförvaltningens enhet för Miljöanalys som har svarat för stora delar av undersökningen och författandet av rapporten. Övriga medverkande har varit Eleonore Löfgren, som stått för kartillustrationer i bilaga 1. Vid provtagningen har Eleonore Löfgren, Ella Lundblad, Teo Lundblad samt personal från WSP varit behjlp- ligen och WSP har också hyrt ut provtagningsutrustningen. Kemiska och bakteriologiska analyser har genomförts av ALS och Eurofins. Nya grundvattenrör har satts av Tyréns. Synpunkter på rapporten har lämnats av Maria Svanholm, Ulf Mohlander och Karin Kuttainen på miljöförvaltningen i Stockholms stad, Cajsa Wahlberg på Stockholm Vatten AB och Lena Maxe på SGU.

Det är ett enormt omfattande arbete som utförts, som gett betydande nya kunskaper och som gör staden bättre förberedd om Vattenmyndigheten skulle besluta om miljökvalitets- normer även för grundvattnet i Stockholm. Ett stort tack till Tonie och övriga medarbeta- rare för en intressant och faktsäckad rapport.

Stockholm 1 november 2013



Gunnar Söderholm

Förvaltningsdirektör miljöförvaltningen i Stockholm

Grundvatten i Stockholm

INNEHÅLL

I	Sammanfattning	7
2	Bakgrund	11
2.1	Grundvatten	11
2.2	Miljögifter	12
2.3	Ramdirektivet för vatten.....	12
2.4	Miljökvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet.....	13
2.5	Stockholms stads grundvattenkvalitetsundersökningar.....	13
2.6	Syfte med undersökningen 2011/2012	15
3	Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet	16
3.1	Val av provtagningspunkter	16
3.2	Provtagning	24
3.3	Parametrar, analysmetodik och rapporteringsgränser	25
3.4	Jämförelser med bedömningsgrunder för grundvatten.....	32
3.5	Rubriker som återkommer för varje kapitel i resultatdelen.....	33
4	Resultat	34
4.1	Parametrar mätta i fält	34
4.2	Alkalinitet, salter, närsalter, organiskt kol och bakterier.....	40
4.3	Basketjoner och metaller	48
4.4	PAHer.....	55
4.5	Klorerade och bromerade alifater samt BTEX.....	59
4.6	Fenolära ämnen, dess etoxilater och koffein	64
4.7	Perfluorerade ämnen.....	69
4.8	Tennorganiska ämnen.....	74
4.9	Ftalater.....	77
4.10	Bekämpningsmedel och nedbrytningsprodukter	80
5	Jämförelse mellan Stockholms tre grundvattenundersökningar	83
5.1	Kvalitetsgranskning av data	83
5.2	Samband och avvikande data inom respektive undersökning	84
5.3	Statistiskt säkerställda haltskillnader mellan miljöförvaltningens tre grundvattenundersökningar	84
5.4	Skillnad i medianhalt mellan undersökningen från 1996/1997 och den från 2011/2012	85
6	Diskussion	88
6.1	Provtagningspunkter.....	88
6.2	Provhantering	88
6.3	Rapporteringsgränser.....	89
6.4	Grundvattennivåer	89
6.5	Grundvattenkvalitet	90
6.6	Källor till föroreningar	93
6.7	Effekter av förorenat grundvatten	94

6.8	Trender	95
7	Slutsatser	96
7.1	Beskriva tillståndet	96
7.2	Effekter/nytta med undersökningen	97
8	Referenser	100
9	Bilagor	103
	Bilaga 1. Kartillustrationer av halter (kartor med staplar) av ett urval ämnen i prov från provtagningen 2011/2012.	
	Bilaga 2. Kvalitetssäkring och statistisk bearbetning av grundvattendata från Stockholms stad. Rapport av Niras 2013-02-05.	

I SAMMANFATTNING

Grundvatten är en värdefull naturresurs även om Stockholms stad grundar sin vattenförsörjning på ytvatten. Grundvattnets mängd och kemiska sammansättning har betydelse för naturmiljön i och med att grundvattnet bildar ytvatten, då det flödar ut i sjöar och vattendrag. Källor och våtmarker är andra miljöer där grundvattennivån når högre än marknivån och grundvattenkvaliteten har där direkt betydelse för växt- och djurlivet.

Övervakningen av Stockholms grundvattenkvalitet ingår som en del i stadens miljöövervakning och undersökningen 2011/2012 gavs som uppdrag i kommunfullmäktiges budget 2011 och 2012. Grundvattnets kemiska innehåll ger en indikation om vilken och hur stor kemisk belastning marken har utsatts för. Grundvattnet visar belastningen för ett större område jämfört med om man provtar mark¹, vilket är en fördel i en översiktlig undersökning som ska täcka hela staden. De ämnen som finns i grundvattnet är de som är rörliga och följer vattnets flöde och därmed så småningom kan nå Stockholms ytvatten, våtmarker och källor, där de kan bidra till en försämring av vattenkvaliteten. Just det är ett skäl till att övervaka grundvattnets kvalitet.

Under perioden november 2011 till juni 2012 provtogs grundvatten på 74 olika platser inom staden, bland annat från sju nyinstallerade miljögrundvattenrör. Dessutom provtogs vattendrag på två platser i anslutning till eller nedströms grundvattenrör. Provpunkterna valdes så att de geografiskt skulle representera Stockholms grundvatten.

Stockholm saknar utpekade grundvattenförekomster enligt vattendirektivet, för vilka Sverige rapporterar status till EU (bortsett från förekomsterna Trollbäcken och Silverdal som tangerar Stockholms administrativa gränser men i övrigt finns i grannkommuner). Eftersom Stockholm har en ås, Stockholmsåsen/Brunkebergsåsen, som i framtiden kan utgöra grundvattenförekomst, gjordes försök att finna platser för provtagning i åsen. Tyvärr var det få grundvattenrör i åsen som det gick att ta prov ur, antingen för att grundvattennivån var för låg eller för att rören var skadade eller förstörda. Där det var möjligt användes samma platser som provtagits vid tidigare undersökningar. Tretton av provpunkterna provtogs dessutom både vinter och vår, för att se om årstiden hade betydelse. Statistiska jämförelser med resultat från tidigare undersökningar gjordes också.

Urvalet av ämnen att analysera gjordes utifrån vilka ämnen som analyserats i tidigare undersökningar, sådana som man funnit i andra grundvattenundersökningar i Sverige och Europa, sådana som finns med på olika listor över ämnen för bedömning av kemisk status och som samtidigt bedömdes ekonomiskt möjliga att inklu-

¹ Mark är kemiskt mer heterogen. Provtagning av mark är ändå ibland nödvändig. Många miljögifter binds till partiklar och fastläggs utan att följa vattnets väg genom marken och är man intresserad av att kartlägga den typen av ämnen är därför markprov mer intressanta. I mer detaljerade undersökningar behövs också ofta markprov.

dera. Vattnet undersöktes avseende temperatur, pH, konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga), syre, alkalinitet, klorid, näringsämnen, organiskt kol, bakterier, baskatjoner, metaller, PAH, klorerade och bromerade alifater, bensen, metyl-, etyl- och dimetylbensen, alkylfenoler, bisfenolA, koffein, perfluorerade ämnen, tennorganiska föreningar, ftalater och bekämpningsmedel. Prover togs emellertid inte på alla platser för alla parametrar.

Hur ofta finner man då dessa ämnen i Stockholms grundvatten och i vilken mån är halterna höga/problematiske? Näringsämnen är de ämnen som förekommer oftast (58 %) i höga eller mycket höga halter, när halterna jämförs med de nya bedömningsgrunderna för grundvatten (SGU, 2013). När grundvatten strömmar ut i ytvattenrecipienterna kan dessa näringsämnen utgöra problem, särskilt som flera av stadens ytvatten har problem med övergödning och hög belastning av näringsämnen även via andra källor. Även tungmetaller är relativt vanligt (17 %) i höga eller mycket höga halter när halterna jämförs med bedömningsgrunderna för grundvatten (SGU, 2013). Bedömningsgrunderna är dessutom delvis baserade på gränsvärden respektive riktvärden för dricksvatten, vilket inte är relevant för vattenlevande organismer som kan vara känsliga för lägre halter.

Övriga analyserade ämnen förekommer också, men eftersom bedömningsgrunder i stor utsträckning saknas för de organiska ämnena är det svårare att bedöma om halterna är höga. Resultaten från undersökningen visar dock att organiska ämnen som kan utgöra miljöproblem förekommer i Stockholms grundvatten. Undersökningens rapporteringsgräns² för respektive analys har förstås betydelse för hur frekvent de rapporterats. Å ena sidan, är rapporteringsgränsen låg i förhållande till bakgrundshalter kan man sannolikt hitta det mesta utan att halterna för den skull är så höga att de utgör problem. Å andra sidan är analyser med låg rapporteringsgräns ofta mycket dyrare, vilket gör att det snarare är vanligt att man valt en för hög rapporteringsgräns. I vissa fall var rapporteringsgränsen högre än ämnens miljö kvalitetsnormer för inlandsytvatten (enligt Direktiv 2013/39/EU). Det innebär att utströmmande grundvatten skulle kunna bidra med skadliga ämnen i halter som kan innebära problem för vattenlevande organismer, trots att halten i undersökningen varit under rapporteringsgräns. Detta gäller för PFOS, där rapporteringsgränsen var nästan åtta gånger högre, tributyltenn, där rapporteringsgränsen

² Rapporteringsgräns är den lägsta halt som labbet rapporterar för en viss ämnesanalys med en viss vald metod. Låga halter kräver ofta mer sofistikerade och därmed dyrare analysmetoder. Eftersom halterna i grundvatten kan variera mycket mellan olika prov, krävs ofta metoder som klarar att detektera låga halter och att man späder prov som har högre halter för att kunna använda samma kemiska analysmetod. Vid upphandlingen av kemiska analyser ställdes krav rapporteringsgränser anpassade till de halter man funnit vid tidigare undersökningar. Resultat under rapporteringsgräns omöjliggör att resultat från olika undersökningar kan jämföras. Är rapporteringsgränsen dessutom högre än halter där man kan förvänta sig negativa miljöeffekter blir det också svårt att avgöra om halterna utgör problem eller ej. För vissa ämnen saknas idag kommersiella metoder som klarar halter under dagens miljö kvalitetsnormer för ytvatten. Eftersom det bedömdes praktiskt och ekonomiskt ogörligt att skicka prov till specialiserade forskningslabbs för endast dessa analyser blev det i vissa fall nödvändigt att acceptera anbud med högre rapporteringsgräns. Även om dessa analyser inte kommer ge svar på om halterna av respektive ämne utgör problem eller ej kan de åtminstone eventuellt urskilja prov med särskilt förhöjda halter.

var fem gånger högre, och benso(a)pyren där rapporteringsgränsen var 59 gånger högre än det årliga medelvärdet för miljökvalitetsnormen för inlandsytvatten för respektive ämne. Att jämföra med miljökvalitetsnormer för inlandsytvatten är emellertid inte helt relevant eftersom halter i grundvatten ofta är högre än i anslutande ytvattensystem, för att utspädning och andra processer sänker halterna i ytvattnet (SGU, 2013).

De organiska ämnena som analyserats är i huvudsak miljögifter med antropogena källor som utan mänskliga aktiviteter inte skulle ha funnits i miljön. Om man bara beräknar hur frekvent de organiska ämnena förekommer över rapporteringsgräns visar PAH-er rapporterade halter i 37 % av proven, trots hög rapporteringsgräns i förhållande till miljökvalitetsnormer för inlandsytvatten. Perfluorerade ämnen förekommer också frekvent i proven; 51 % har halter över rapporteringsgräns, varav PFOS 30 %. Tennorganiska föreningar förekommer i alla analyserade prov, men då i form av monobutyltenn. Dibutyltenn finns i 20 % av proven och tributyltenn i 10 %. Bisfenol A, oktyl- och nonylfenoler visar sig också vara vanligt; 36 % av proven har halter över rapporteringsgräns. Klorerade alifater och vinylklorid förekommer i 24 % av proven medan bensen, metyl-, etyl- och dimetylbenzen är ovanligare och finns i 13 % av proven över rapporteringsgräns. Ftalater finns i 16 % av proven över rapporteringsgräns. Av ftalaterna är DEHP den vanligast förekommande och det är också den ftalat som analyserades 2003/2004, då DEHP förekom frekvent. Bekämpningsmedelsrester finns i 13 % av proven och i ungefär samma halter som vid tidigare undersökningar. Koffein analyserades för att påvisa avloppspåverkan. Ämnet visade sig dock vara så vanligt att det verkar osannolikt med så stor avloppspåverkan. En möjlighet är att proven påverkats av kontamination vid provtagning eller analys i kombination med att rapporteringsgränsen för koffein var mycket låg.

Resultaten har också jämförts med halter i ytvatten, i den mån det funnits dataunderlag för jämförelser. Där både grundvatten och nedströms ytvatten analyserats i denna undersökning syntes inga tydliga mönster eller samband. Resultat från andra studier av Stockholms ytvattenkvalitet kan jämföras med de halter som uppmätts i grundvattnet. Generellt, utan koppling mellan specifika provpunkter och respektive ytvattenrecipient, har då grundvattnet lägre pH, högre halt näringsämnen och likvärdiga halter av metallerna kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink. Den största skillnaden är emellertid att halterna varierar betydligt mer i grundvatten än i ytvatten. För perfluorerade ämnen och nonyl- och oktylfenoler där det finns data från både grund- och ytvatten är halterna i enskilda provpunkter betydligt högre i grundvatten, men skillnaden i rapporteringsgräns har också varit stor vilket gör att det är svårt att göra generella jämförelser. En slutsats är ändå att grundvatten kan utgöra en källa för dessa ämnen till ytvattnen.

Stockholm Vatten har beräknat att en stor andel av vattnet i avloppsledningsnätet består av inträngande drän- och grundvatten. Halter i inkommande avloppsvatten till reningsverken analyseras av Stockholm vatten. Detta vatten är alltså inte bara en blandning av dag- och spillvatten utan också drän- och grundvatten. Det kan vara en förklaring till att halterna av vissa ämnen i inkommande avloppsvatten

inte är avsevärt mycket högre än de i grundvattnet. Undersökningen visade att halterna i vissa provpunkter till och med är högre i grundvatten även om de generellt är lägre. Detta gäller ammoniumkväve, totalkväve, totalfosfor, arsenik, kadmium, zink, nickel, enskilda PAHer, vissa klorerade alifater, vinylklorid, toluen (metylbensen) alkylfenoler, tennorganiska ämnen och DEHP. Halterna klorid är till och med generellt högre i grundvatten än i avloppsvatten. Grundvattenhalterna av de flesta av dessa ämnen skiljer sig heller inte särskilt mycket från de som rapporterats i dagvatten. Förklaringen till höga halter i enskilda grundvattenprov är antagligen att avlopps- och dagvattenledningar läcker till grundvattnet. Eftersom också tappvattenledningar läcker får grundvattnet både rent och förorenat vatten via läckage

Stockholms grundvattenundersökningar visar en kartläggning av tillståndet snarare än att ge underlag till trendanalyser. Många av provpunkterna med höga halter 1996/1997 eller 2003/2004 kunde inte användas vid undersökningen 2011/2012 för att rören var skadade eller försvunna. Sådana skillnader mellan åren gör det svårare att jämföra olika års resultat med varandra. Materialet från de tre undersökningarna har ändå jämförts, för att göra ett försök till trendanalys. I den mån man kan göra trendanalys av miljöförvaltningens tre grundvattenundersökningar tycks halterna av flera metaller ha minskat. Detta gäller metallerna aluminium, kobolt, krom, koppar och bly. PAHer tycks också visa lägre halter i undersökningen 2011/2012. Om detta visar verkliga förändringar är det mycket positivt. Någon uppenbar skillnad mellan vinter- och vårprov vad gäller kemiska parametrar kunde inte ses, vilket är positivt med tanke på att alla grundvattenundersökningar som gjorts i Stockholm genomförts under tidsperioder som täckt flera olika årstider. Skulle årstidsvariationerna vara stora skulle det försämra möjligheten att lägga ihop data från olika provpunkter med provtagning olika årstider.

I ett fall där särskilt hög halt tri- och tetrakloretylen påträffats (provpunkt 10) har miljöförvaltningen startat mer detaljerade undersökningar för att identifiera omfattningen på föroreningen och eventuellt finna källan. Lokalt förhöjda halter kan även på andra platser leda till framtida större detaljundersökningar i staden. En stor nytta med undersökningen förväntas annars vara att verksamma i staden med olika frågor där grundvattenkvalitet undersöks ska kunna använda materialet som referens vid egna undersökningar. Andra kommuner (m.fl.) som bedriver miljöövervakning bör också kunna ha nytta av materialet i sin planering, eftersom så omfattande studier av urban grundvattenkvalitet sällan utförts.

2 BAKGRUND

2.1 Grundvatten

Grundvatten och vattnets kretslopp

Större delen av jordklotets sötvatten finns i marken som grundvatten eller är bundet i form av is i polartrakterna. Sjöar och vattendrag utgör bara en obetydlig del av jordens sötvattenförråd. Allt vatten ingår i ett kretslopp. Solenergi gör att vatten dunstar, bildar moln och faller som nederbörd tillbaka på jordklotets yta. Nederbördsvatten som faller på marken infiltrerar, om ytan inte är hårdgjord. Det vatten som infiltrerar tas antingen upp av växter eller rinner vidare nedåt. När det når en nivå då alla porer är fyllda med vatten övergår det från att vara markvatten till grundvatten. I grundvattenzonen rör sig vattnet med en hastighet som beror på markens genomsläpplighet, porstorlek i jordlager och spricksystem i berg, och på grundvattenytans trycknivåskillnader. Vattnet rör sig från områden med högre trycknivå mot lägre, vilket oftast följer terrängens höjdvariationer. När vattnet når lågpunkter i terrängen, där trycknivån sammanfaller med (eller överstiger) markytan, bildas våtmarker, källor eller källsjöar. Grundvattnet kan också rinna ut i vattendrag och sjöar dit vatten också rört sig som ett ytligt vattenflöde från andra områden. Omsättningstiden kan skilja mycket; ytvatten har ofta kort medan grundvattnet kan ha omsättningstider på hundratals år. Djupare grundvatten är i regel äldre och ytligt grundvatten yngre. Åldern och omsättningstiden för grundvatten varierar också med läget i terrängen och hur mycket ”nytt” vatten som bildar grundvatten.

Grundvattenkemi

Det vatten som dunstar är från början i princip fritt från olika ämnen. Olika ämnen fångas sedan upp på vägen genom atmosfären och från markytan och andra ytor som det kommer i kontakt med. Vatten som rinner genom marklagren ner mot grundvattenytan kan fånga upp ytterligare ämnen. Det kan vara naturliga ämnen som finns i mark och som frigörs vid jonbytesprocesser och vittring av markmineral men också ämnen som orsakats av mänskliga aktiviteter. Ämnen som följer med vattenflödet kan också fastläggas i marken, framförallt om marken är rik på lerpartiklar och organiskt material. Olika ämnens kemiska och fysikaliska egenskaper och benägenhet att brytas ner har betydelse för om de når och transporteras med grundvattnet eller ej. Vissa ämnen frigörs lätt och är mycket lättlösliga, t.ex. natrium och kloridjoner, vilket gör att sådana ämnen med tiden når höga halter i haven. Andra ämnen binds hårt i marken eller så är vegetationen bra på att fånga upp dem så att en mindre andel frigörs från mark till ytvatten. Många tungmetaller men också näringsämnen fungerar så, vilket liv på jorden anpassat sig till.

Urban påverkan

Det urbana landskapet är inte bara kemiskt utan också hydrogeologiskt komplext, med bl.a. hårdgjorda markytor, flyttade jordmassor och undermarkskonstruktioner, som kan dämna upp eller dränera grundvattenflödet. Dessutom finns avlopps-, vatten- och dagvattenledningar som läcker rent eller förorenat vatten till grundvattnet eller dränerar bort grundvatten. Det gör att grundvattenflödet och grund-

vattenkemin kan skilja sig mycket mellan olika platser i landskapet, i djupet och i viss mån också i tiden. Därför krävs ett stort antal provtagningspunkter för att ge en översiktlig bild av grundvattenkvalitén. Ytligt grundvatten och grundvatten i jordlagren visar oftare mänsklig påverkan än djupare berggrundvatten. Dessutom är i regel tillskottet till ytvatten av ytligt grundvatten större än av djupare grundvatten eftersom omsättningstiden är kortare i det ytliga grundvattnet. Syftet med undersökningen som beskrivs i den här rapporten var i första hand är att se mänsklig påverkan och kopplingen till ytvattenkvalité. Prover har därför tagits av ytligare grundvatten i jordlager och inga bergborrade grundvattenrör har använts.

2.2 Miljögifter

I Stockholm har man använt stora mängder metaller och mänskligt producerade organiska ämnen sedan staden industrialiserades, liksom i de flesta andra urbana miljöer. Det gör att sådana ämnen återfinns i större mängder i mark, vatten och sediment än vad som är naturligt. En del av dessa ämnen kan vara skadliga och långlivade, medan andra bryts ner eller är mer harmlösa av andra skäl. Tungmetaller har använts länge, bryts inte ner och är relativt lätta att analysera vilket gör att vi vet att de förekommer i mark, ytvatten, grundvatten och sediment. Organiska ämnen är mer komplexa. Nya organiska miljögifter tillkommer ständigt och de kan brytas ner och bilda andra skadliga ämnen. Antalet organiska ämnen som kan vara problematiska ur miljösynpunkt blir därför stort. Dessutom är kemiska analyser av organiska ämnen ofta komplicerade och dyra, om det ens finns metoder utvecklade för de halter som förekommer och kan ge negativa effekter i miljön. Det gör att kunskapen om förekomst av organiska miljögifter är betydligt mindre än för tungmetaller.

2.3 Ramdirektivet för vatten

Mycket av miljöövervakningen av vatten och grundvatten i Sverige har sin grund i *Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område* (Vattendirektivet) och dess dotterdirektiv *2006/118/EG om skydd för grundvatten mot föroreningar* (Grundvattendirektivet). Direktiv 2000/60/EG har i augusti 2013 ersatts av *Europaparlamentets och rådets direktiv 2013/39/EU*. Dessa direktiv har i svensk rätt implementerats i miljöbalken och myndighetsföreskrifter, där *Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter om statusklassificering och miljökvalitetsnormer för grundvatten, SGU-FS 2008:2*, är särskilt central när det gäller grundvatten. En del i arbetet kring denna lagstiftning handlar om att utvärdera vattenkvalitet i förhållande till olika kvalitetskriterier och ange miljökvalitetsnormer för utpekade vattenförekomster. För vattenförekomster där det finns risk att kvalitén inte uppnår god status ska åtgärder vidtas.

Stockholms stad har bara en betydande grundvattentillgång och det är Stockholmsåsen/Brunkebergsåsen (se Figur 1). Åsen är en geologisk bildning som är så genomsläpplig att grundvatten skulle kunna utvinnas. Åsen, uppdelad i sina olika magasin, hade kunnat klassificeras som grundvattenförekomst om vattenförvaltningen för Norra Östersjöns vattendistrikt hade beslutat så. Omkringliggande de-

lar av åsen är grundvattenförekomster, eller kommer bli det i nästa vattencykel; Grundvattenmagasinen Trollbäcken tangerar Stockholms stad i sydvästra Skarpnäck och Stockholmsåsen- Silverdal tangerar i Kista. De flesta åsar i Sverige är grundvattenförekomster³ och också denna del av Stockholmsåsen kan eventuellt bli det i framtiden. En viktig skillnad mellan en grundvattenförekomst och annat grundvatten är att det bara är för vattenförekomsterna som länderna ska rapportera kemisk status och annan kvalitetsinformation till EU, och att det för vattenförekomster som inte uppnår god status ska sättas in effektiva åtgärder. För grundvatten är det emellertid tveksamt om det är realistiskt att lyckas förbättra föroreningshalterna inom ett fåtal år, genom att sätta in tekniskt och ekonomiskt möjliga åtgärder. Det gäller sannolikt i ännu högre grad i urban miljö med låg grundvattenomsättning och tät bebyggelse. Även om Stockholms stad inte har några grundvattenförekomster (bortsett från de delar där Trollbäcken respektive Silverdal tangerar stadens administrativa gränser) har staden ett antal ytvattenförekomster för vilka Sverige rapporterar vattenkvalitet. För de ytvattenförekomster som riskerar att inte uppnå god status är information om grundvattenkvalitet till nytta vid bedömning av åtgärdsalternativ.

2.4 Miljö kvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet

Utöver Vattendirektivet och Grundvattendirektivet finns det nationella miljö kvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet, ett mål som Sveriges riksdag har antagit och som ska uppnås till år 2020. När det gäller miljö kvalitetsmålet finns ingen begränsning i vilka grundvatten som målet gäller, utan målet gäller även mindre förekomster oavsett geologiskt material. I de preciseringar av miljö kvalitetsmålet som regeringen beslutade om den 26 april 2012 finns formuleringar om att grundvattnet med få undantag ska vara av sådan kvalitet att det inte begränsar användningen som dricksvatten och att utströmmande grundvatten ska ha en sådan kvalitet att det bidrar till en god livsmiljö för växter och djur i källor, sjöar, våtmarker vattendrag och hav. Om Stockholms stads grundvatten inte uppnår dricksvattenkvalitet så bör det åtminstone bidra till god livsmiljö för de livsformer som är beroende eller påverkas av utströmmande grundvatten i våtmarker och ytvatten.

2.5 Stockholms stads grundvattenkvalitetsundersökningar

I Stockholm har grundvattenkvaliteten tidigare undersökts 1996/1997 (Miljöförvaltningen, 1997) och 2003/2004 (Miljöförvaltningen, 2006). Huvudtanken 2003/2004 och 2011/2012 var att återupprepa tidigare undersökningar för att kunna jämföra resultaten och utläsa eventuella trender. Samtidigt har det inte bedömts meningsfullt att upprepa analys av ämnen som inte kunnat detekteras vid tidigare undersökningar, medan det istället bedömts som intressant att lägga till nya ämnen som inte undersökts tidigare. Grundvattenrören som används vid prov-

³ I första hand är grundvattentillgångar som används för dricksvattenändamål eller som kan komma att göra det i framtiden utmärkta som grundvattenförekomster men även grundvattentillgångar som har betydande påverkan på anslutande ytvattenförekomst kan klassas som förekomster.

Grundvatten i Stockholm

Bakgrund

tagningen har i många fall heller inte återfunnits, varit skadade eller ur funktion, vilket gjort att provtagningspunkterna skiljt sig åt mellan undersökningarna. Mer uppenbara likheter och skillnader mellan de olika undersökningarna framgår av Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av de tre undersökningarna. I vissa fall har rapporteringsgränsen skiljt sig mycket mellan undersökningarna så att det är svårt att jämföra resultat trots att samma parameter analyserats.

Provtagningsår	1996/1997	2003/2004	2011/2012
Antal provpunkter	75	35 (varav 19 provtagits vid föregående undersökning)	74 (varav 13 provtagits vid någon eller bägge de tidigare undersökningarna)
Parametrar som analyserats vid alla undersökningar	Ofiltrerade prov: alkalinitet, SO ₄ , Cl, NH ₄ -N, total-N, total-P, TOC, PAH 16, Filtrerade prov: Ca, Mg, Na K, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn		
Parametrar som analyserats på olika sätt vid olika undersökningar	Ofiltrerade prov: pH (på labb), konduktivitet (på labb), (NO ₃ +NO ₂)-N, Hg, E-coli 44°C,	Ofiltrerade prov: pH (på labb, 25°C), konduktivitet (på labb, 25°C), NO ₃ -N, NO ₂ -N, E.coli 44°C Filtrerat prov: Hg	Ofiltrerade prov: pH (i fält), konduktivitet (i fält), NO ₃ -N, NO ₂ -N, Hg, E.coli 35°C Filtrerat prov: Hg
Parametrar som analyserats vid bara en eller två undersökningar. (Ämnesgrupper som bara analyserats vid provtagningen 2011/2012 nämns som ämnesgrupper och inte med specifika substanser om flera ämnen har analyserats. För detaljer om dessa se Tabell 3)	Ofiltrerade prov: atrazin, desetyl- och desisopropyl-atrazin, simazin, terbutylazin, diuron, BAM, EGOM, opolära alifatiska kolväten, tot extraherbara alifater och aromater, PCB (7 st), heterotrofa bakterier 20°C (2 och 7 dagar), koliforma bakterier 35C, fekala streptokocker 35°C, sulfitreducerande clostrider, colifager, fekala steroler. Filtrerade prov: Ba, Fe, Mn	Ofiltrerade prov: klorfenvinfos, atrazin cyanazin, desetyl- och desisopropyl-atrazin, simazin, terbutylazin, glyfosat, AMPA, MTBE, PCB (7 st), oktylfenol, nonylfenol, DEHP, fekala streptokocker, sulfitreducerande anaeroba bakterier, Filtrerade prov: W	Ofiltrerade prov: glyfosat, AMPA, BAM, klorerade och bromerade alifater, flyktiga organiska ämnen, oktylfenoler och nonylfenoler och deras etoxilater, bisfenola, DEHP och ytterligare andra ftalater, perfluorerade ämnen, tennorganiska föreningar, koffein intestinala enterokocker Filtrerade prov: Ba, Sr, Fe, Mn, Si, Mo, P
Olika provbehandling	Filtrering i fält	Filtrering på labb	Filtrering på labb

2.6 Syfte med undersökningen 2011/2012

Stockholms miljöförvaltning har i uppdrag att bedriva miljöövervakning. Det huvudsakliga syftet med den miljöövervakning som beskrivs i rapporten är att kartlägga stadens grundvattenkvalitet på ett mer översiktligt sätt, som en del i att bevaka stadens miljöbelastning. Detta innefattar att identifiera vilka ämnen som når grundvatten och bedöma graden av påverkan. Målet är att materialet ska ge ökad kunskap och förståelse för urban grundvattenkvalité och vara till nytta i det framtida åtgärdsarbetet.

I stadens vattenprogram 2006-2015 finns flera övergripande mål som har med miljöövervakning av grundvattenkvalitet att göra, framförallt:

- Kvaliteten på tillrinnande vatten ska vara sådan att en god vattenstatus uppnås i stadens vattenområden.
- Grundvattnets kvalitet ska bevaras eller förbättras
- Förorenade mark- och sedimentområden som medför stor påverkan på yt- och grundvatten ska saneras.

Nedan ges exempel på behov där undersökningens grundvattendata är till nytta:

- Finna platser med lokala föroreningar, där vidare undersökningar kan ge information om lokala källor och behov av åtgärder.
- Få mer övergripande underlag som kan användas vid bedömning av generell risk för föroreningsspridning, t.ex. vid borring för bergvärme eller annan undermarksbyggnation.
- Få data som underlag vid jämförelser med annan vattenkemisk data i Stockholm:
 - Grundvatten: För bedömning av grad av grundvattenförorening vid andra mark- och grundvattenundersökningar, framförallt där man misstänker markföroreningar.
 - Ytvatten: För bedömning av grundvattnets påverkan på ytvattenkvalité, t.ex. för sjöar och vattendrag som utgör vattenförekomster eller Mälaren som dricksvattentäkt.
 - Dagvatten: För bedömning av behov av särskild hantering/rening av dagvatten, t.ex. om det finns möjlighet att infiltrera dagvatten i mark.
 - Avloppsvatten: För bedömning av grundvattnets påverkan på avloppsvattnets kvalitet (och mängd), eftersom en del av avloppsvattnet beräknas bestå av inläckande grundvatten.
- Få underlag som (på sikt) kan användas för bedömning av om tillståndet försämras eller förbättras med tid, genom att jämföra resultaten från olika undersökningar med varandra, bl.a. som uppföljning av om tillsynsarbetet generellt har önskad effekt (för koppling till enskilda objekt krävs mer omfattande lokal övervakning).
- Få underlag för rapportering av grundvattenkvalitet enligt vattendirektivets krav, om Stockholmsåsen blir vattenförekomst i framtiden.
- Få ökad kunskap nationellt om urban påverkan på grundvattenkvalité, eftersom få liknande studier har genomförts i Sverige.

3 METODIK FÖR UNDERSÖKNING AV GRUNDVATTNETS KVALITET

3.1 Val av provtagningspunkter

Vid undersökningen 1996/1997 konstaterades att det inte fanns särskilt tydliga samband mellan höga halter och de provtagningspunkter som valts för att man misstänkte påverkan från särskilda verksamheter. Thomasdotter (2010) gjorde en ännu större kartläggning av verksamheter men även hon visade att det fanns dålig korrelation mellan halter i grundvattenproverna från 1996/1997 och 2003/2004 och känd verksamhet/markanvändning i tillrinningsområdet. Sternbeck och Österås (2010) pekar ut diffusa källor som starkt bidragande till miljögifter i urban miljö, vilket också ger skäl att göra ett mer slumpmässigt val av platser i en övergripande kartläggning. Detta gjorde att urvalskriteriet att välja platser utifrån kända föroreningskällor inte bedömdes relevant 2011/2012.

Grundvatten kan provtas i källor och tunnlar, där grundvatten strömmar ut, i grundvattentäkter, grundvattenbrunnar eller i grundvattenrör. I Stockholms stad finns få källor och grundvattentäkter men däremot en hel del tunnlar och ett stort antal grundvattenrör. Eftersom mänsklig påverkan förväntas vara störst i ytligare grundvatten valdes grundvatten i berg bort, och därmed provtagning i tunnlar och grundvattenrör och brunnar i berg. För att få ett större antal provtagningspunkter användes grundvattenrör i jord som satts för att mäta grundvattennivåer, så kallade nivårör.

Stockholms stads nivårör i jordlager

Minst 1200 rör har satts av Stockholms stad för att bevaka grundvattennivåer i jordlagren inom ett särskilt nivåmättningsprogram. I många av rören har man mätt nivåer sedan 1960-talet. Eftersom syftet med programmet är att bevaka risken för marksättningar, sitter de flesta rören där det finns lerlager. Filtret, där vatten kan strömma in i röret, sitter då i friktionslager över eller under leran. Mätning av grundvattennivå görs särskilt ofta där man riskerar sättningsskador om grundvattennivån sjunker. Nivårören har vanligtvis en inre rördiameter om 9 mm och består av plast, med ett keramiskt filter i botten. En del rör har större rördiameter och en del är av stål. Eftersom filtret i regel sitter i botten kan rördjupet ge en indikation om från vilket ungefärligt djup grundvatten provtas (Tabell 2).

Eftersom Stockholms stad äger många nivårör och det är dyrt och tidskrävande att sätta grundvattenrör är det i huvudsak stadens nivårör som använts vid provtagningen 2011/2012. Dessa rör har emellertid satts för att mäta grundvattennivåer och inte för att ta vattenprov. Rörens utformning innebär dels att de har smal dimension, vilket gör att särskild provtagningsutrustning krävs för att ta prov, och dels att rörmaterialet inte har anpassats till behoven för kemisk provtagning, vilket innebär att det inte kan uteslutas att själva rörmaterialet påverkar de kemiska resultaten.

Miljöförvaltningens miljörör

Hellre än att använda nivarör bör så kallade miljörör användas. Miljörör är gjorda av material som inte ska avge metaller eller organiska ämnen och som har en större dimension vilket förenklar provtagningen och minskar risken för att proven påverkas av själva provtagningsmetodiken (se kapitel 3.2). Vid 2003/2004 års undersökning sattes tre miljörör och 2012 sattes ytterligare sju (i samband med den undersökning som beskrivs här). Miljöförvaltningen har därmed låtit sätta sammanlagt tio miljörör som har använts vid provtagningen 2011/2012. De miljörör miljöförvaltningen har satt har varit av högdensitetspolyeten (PEH), utom för provpunkten 7c och 51 där det är stålror. De nya rören 2012 placerades på platser där det ansågs intressant att få mer information om grundvattenkvalitet men där det saknades tillgänglig information om att det fanns grundvattenrör. I flera fall valdes platser med troligt större tillrinningsområde, nära ytvattenrecipienter. De nya miljörören 2012 sattes av Tyréns.

Övriga provtagningspunkter

Utöver stadens rör har några prover tagits ur rör som installerats i samband med exploatering och som konsulter föreslagit. Sådana rör finns det många i staden men ingen sammanställning finns i stadens regi, som visar placering, typ, tekniska egenskaper eller vem som mäter, har nyckel etc. Utöver grundvattenrör har en källa och en brunn använts för provtagning. I den mån rörmaterialet och typen varit känd finns notering i Tabell 2. För jämförelse med ytvattenkvaliteten har två prover tagits i vattendrag intill grundvattenrör.

Val av platser för provtagning – följa tidstrender

Ju längre tidsserie, och fler tillfällen då prov tas desto bättre bild får man av eventuella trender. Ju fler provpunkter där upprepade provtagning kan göras desto bättre bild får man av eventuella generella trender för dessa platser. Därför har ett mål varit att återkomma till så många provtagningspunkter som möjligt i Stockholms grundvattenundersökningar, både vid denna och vid den undersökning som genomfördes 2003/2004. År 2010 gjordes en mindre förstudie bland annat för att ta reda på om rör som använts vid de två tidigare undersökningarna fanns kvar (Fried, 2013). Förstudien visade att många rör har skadats, tagits bort eller blivit otillgängliga med tiden.

Val av platser för provtagning – geografisk spridning

För att komplettera med ytterligare rör, utöver de som använts tidigare och som visade sig vara möjliga att använda igen, gjordes en värdering av nya lämpliga platser. Valet av provtagningspunkter gjordes så att stadens grundvatten i jordlager skulle kunna representeras så geografiskt spritt som möjligt. Dessutom valdes några intilliggande provpunkter för att ge en bild av hur stor variationen kan vara också inom korta avstånd. Ett mål var att välja provpunkter i så många olika tillrinningsområden för stadens sjöar och vattendrag som möjligt. Där möjligt valdes platser nära dränerings- (drän-)punkter för grundvatten eller så långt från vattendelare som möjligt. För detta användes kartorna som togs fram av SGU 1997 (Miljöförvaltningen, 1997), då det gjordes ett omfattande arbete med att kartlägga grundvattendelare och grundvattnets strömningsriktning. Förutsatt att kartorna

stämmer ska dessa prov i möjligaste mån representera större tillrinningsområden. Detta till skillnad från provtagningspunkter nära vattendelare som bara visar lokala föroreningar. Nackdelen med ett sådant val är att källor till föroreningar kan finnas inom ett ganska stort tillrinningsområde, vilket minskar möjligheten att använda resultaten för specifik källkartläggning.

Eftersom Stockholmsåsen går som ett stråk från NNV mot SSO genom stadens centrala delar och åsar generellt kvalificerar sig som grundvattenförekomster, fanns också en intention att välja provpunkter i åsen.

Val av rör för provtagning – i förhållande till grundvattendjup

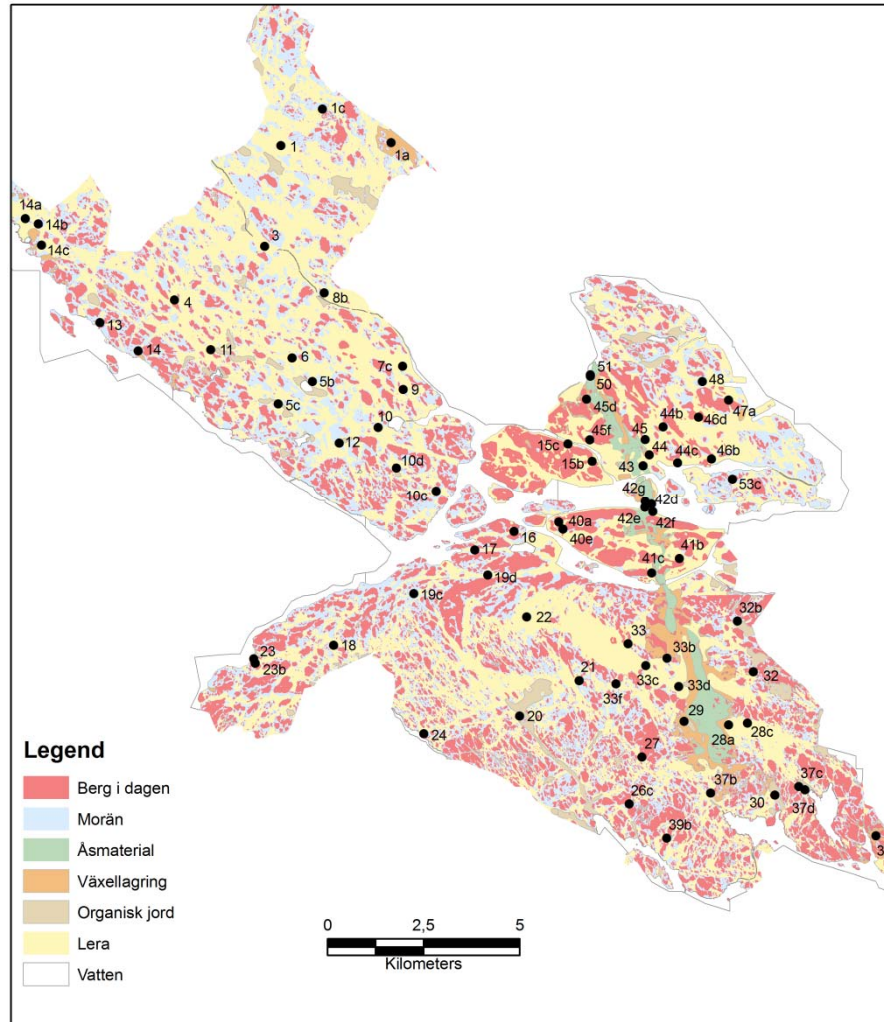
I vissa fall fanns möjlighet att välja mellan rör med filterdel i ett övre eller i ett undre magasin (över eller under lerlager). Gick det då att få vatten ur röret med filter i det övre magasinet valdes det, eftersom generellt kan antas att övre magasinet omsätts snabbare och visar nyare föroreningskällor.

Slutgiltigt val av provtagningspunkter

Vid provtagningen 2011/2012 visade det sig att många rör tagits bort i samband med byggnation, var tomma (grundvattennivåerna var för låga), hade igensatta filter eller var skadade på andra sätt, vilket gjorde att vatten inte kunde provtas. Totalt inventerades ca 170 grundvattenrör/provtagningspunkter och av dessa kunde provtagning ske i 74. Komplettering med nya provpunkter gjordes löpande, efterhand, enligt ovan beskrivna urval. För placeringen av provtagningspunkterna, se Figur 1 och Tabell 2.

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet



Figur 1. Provpunkter vid 2011/2012 års provtagning. För vidare information, se respektive nummer i Tabell 2.

Tabell 2. Sammanställning över provpunkter. Tidigare använda provtagningsplatser har beskrivits i Miljöförvaltningen (1997) och/eller Miljöförvaltningen (2006). Huvuddelen av rören används vid stadens program för nivåmätning.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Tidigare provtagen 1997/2006	Rörbeteckning	X koordinat (Sweref 99 18.00)	Y koordinat (Sweref 99 18.00)	Röröverkant (rörtoppnivå) (RH00) (m)	Avstånd röröverkant till rörbotten (m)	Adress	Rörtyp och beskrivning
1	(32)Granholmen	2006	5846D212	144572	6587892	12,2	8,48	Hästa damm åkerkant	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, åkermark, ev med tillströmning till Igelbäcken .
1a	Kista-åsinslag		5848C644 /EHC644	147433	6587964	34,75	8,83	Torshamnsgatan/Kistagången	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, åsinslag, bostads-, industri- och verkstadsområde.
1c	Akalla		5747c2030/ DGC2030	145649	6588834	23,66	4,17	Borgågatan, Akalla	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, bostadsområde.
3	(54)Spånga torg	1997,2006	6146A205	144146	6585266	6,83	5,12	Värsta allé 8	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, bostadsområde.
4	(30)Johannelundstoppen	1997,2006	6244D195	141808	6583874	22,96	13,42	Stenskärvsgränd	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, schaktmassetipp, handelscentrumparkering.
5b	Kyrksjön		21C30	145389	6581753	15,8	6,58	Rundkyrkoallén 4-2	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (villa)bostadsområde intill Kyrksjön .
5c	Judarn		30B48	144505	6581170	11,95	2,67	Dybäcksvägen 72	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (villa)bostadsområde, Judarns tillrinningsområde men en dryg km från sjön.
6	(55)Beckomberga	1997, 2006	20B56	144862	6582365	14,4	8,35	Bällstavägen 202	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, bostadsområde, biltrafik. Relativt nära dränpunkt för grundvatten.
7c	Bällstaviken		22M1203MF	147732	6582146	4,114	10,09	Ulvsvandavägen Karlsbodavägen, vid tvärbanans staket	Nytt 2-tums (innerdiameter 51 mm) stålror 2012 med 2 meter filterlängd (hålats metallrör) - på 7,56-9,56 m djup (röret 10,1 m långt). I morän. Ingen övre grundvattenyta i friktionsjorden (fyllnads-massor) över leran. Filtret i friktionsjord under leran. Industri- och handelscentrumområde intill väg och tågräls. Tillrinningsområde till Bällstaviken , ev med påverkan från Bromma flygplats.
8b	Bällstaån		1C190	145699	6584058	4,75	10,05	Ekstocksvägen Oskarsvägen	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (villa)bostadsområde, Bällstaåns tillrinningsområde.
9	(10 C)Ulvsvunda	1997, 2006	32B123	147751	6581544	9,14	5,52	Ranhammarsv 21	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, Industri- och handelsområde. Fyllnadsmassor. Bällstavikens tillrinningsområde.
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2006	42A240	147096	6580560	4,53	8,41	Galonv 24	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, bostadsbebyggelse. Lillsjöns tillrinningsområde.
10c	Äppelviken		53C21	148610	6578897	18,57	7,44	Korsvägen (i lekpark vid Klövervägens hållplats)	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (villa)bostadsområde vid lekpark.
10d	Stora mossens koloni omr		52B15	147576	6579501	22,41	2,37	Nyängsvägen, koloniområde	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör? Tillrinning från koloniområde.
11	(52)Räcksta träsk	2006	MF 2004 Bromma	143155	6581895	13,21	7,7	Grimstagatan vid Räcksta träsk	2-tums PEH-miljörör från 2004 med 1 m PEH filter 0,5 m från botten, vid väg intill Räcksta träsk .
12	(74)Brommaplan/reningsv	2006	41D450	146086	6580148	okänd	9	Ekebyv 5	Nivårör men ej i nivåprogram, 9 mm rör (info om rörnivå saknas o osäkra koordinater), (villa)bostadsområde. Intill dränpunkt för grundvatten.
13	Hässelby strandbad		6343M1202MF	139864	6583285	3,123	3,54	vid parkeringsplats för Hässelby strandbad	Nytt 50 mm (innerdiameter 40 mm) PEH-miljörör 2012 med 3 m PEH filter i botten - på 3,13-6,13 m djup. Vid parkeringsplats strandbad vid Mälaren .
14	Maltesholmsbadet		6444M1203MF	140865	6582549	9,14	5,04	Maltesholmsbadet, vid buskage mot Maltesholmsvägen	Nytt 50 mm (innerdiameter 40 mm) PEH-miljörör 2012 med 2 m PEH filter i botten - på 2,2-4,2 m djup. Vid buskage mot väg vid strandbadplats vid Mälaren .
14a	Lövstatippen		10506G (GV8)	138263	6585852	Z+1,38	6,03	Vid skogskant infart ÅVC Lövsta, Lövstatippens kontrollprogram	2-tums (63mm) PEH-miljörör med 1 m PEH filter i botten på ca 4-5m djup. Uppströms deponiområde. Området kan ha påverkats av den avfallshantering som skett 1890-1986.
14b	Lövsta våtmark		GV1	137928	6585990	Z+1,25	8,35	Mitt emot Svenska Freon återvinningsskylten vid damm och dammsystem	2-tums (63mm) PEH-miljörör satt år 2006, okänd filterlängd och filterdjup. Uppströms deponiområde. Området kan ha påverkats av avfallshantering 1890-1986.
14c	Lövsta - Riddersvik		6142B321	138350	6585296	12,28	12,86	Riddersviks gård	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, i område med hästagar

Tabell 2. Sammanställning över provpunkter. Tidigare använda provtagningsplatser har beskrivits i Miljöförvaltningen (1997) och/eller Miljöförvaltningen (2006). Huvuddelen av rören används vid stadens program för nivåmätning.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Tidigare provtagen	Rörbeteckning	X koordinat (Sweref 99 18.00)	Y koordinat (Sweref 99 18.00)	Röröverkant (rörtoppnivå) (RH00)	Avstånd röröverkant till rorbotten	Adress	Rörtyp och beskrivning
15b	Kungsholmen Ö		45D632	152659	6579676	7,26	4,4	Pipersgatan 30	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstadsbebyggelse.
15c	Kungsholmen N		45C531	152033	6580126	3,53	3,56	Kronobergsgatan 28-30	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstadsbebyggelse.
16	(2)Liljeholmen/Trek	1997, 2006	64C57	150633	6577832	4,54	7,47	Gröndalsv - Sjöbjörns v	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, vid grusad fotbollplan, transformatorstation, bilservice och tidigare livsmedelstillverkning. Ev i fyllnadsmassor. Bör ej ligga i Trekantens tillrinningsområde, snarare avrinning till Mälaren .
17	(39)Vinterviken	1997, 2006	73B83	149609	6577346	4,95	6,98	Vinterviksvägen vid Skulpturens hus, tidigare NitroNobel.	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, vid koloniområde, Notering 1997: skrotupplag. Tidigare industriområde med miljöfarlig verksamhet. Avrinning till Mälaren .
18	Bredäng		91D309	145941	6574868	31,95	6,29	Eksättrav-Björksättrav vid parkeringsplats för idrottsanläggning	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, parkeringsplats, ev påverkan från trafikled.
19c	Hägersten		82B38	148026	6576214	34,7	7,15	Naumannsvägen 23	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, bostadsområde.
19d	Hägersten-Aspudden		74c170	149953	6576694	24,17	5,62	Aspudden, Hägerstensvägen 147	nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, tät bebyggelse
20	(73)Älvsjömassan	2006	MF 2004 Älvsjö	150799	6573019	20,97	11,88	Älvsjö, väg 266 avfart Magelungskopplet	2-tums PEH-miljörör från 2004 med 1 m PEH filter 0,5 m från botten, under trafikplats, vid dränpunkt för grundvattnen.
21	(57)Stureby	1997	105D225	152324	6573954	23,61	2,3	Bjulev 34, på öppen gräsyta mellan gles bebyggelse	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, gles bebyggelse, ev påverkan från trafik.
22	Enskedefältet		94B66	150962	6575609	18,54	11,29	Drivhjulsv 32	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, handels-, parkerings- och industriområde.
23	Sätrabadet		100M1203MF	143868	6574521	2,059	2,75	Intill bäcken vid parkering Sätrabadet	Nytt 63mm (innerdiameter 50mm) PEH-miljörör 2012 med 2 m PEH filter i botten - på 0,48-2,48 m djup. Intill bäck vid strandbad vid Mälaren .
23b	Sätraån (ej grundvattnen)		VATTENDRAG	143902	6574405			Sätraån vid Sätrabadet	Vattendrag - provtaget intill gr.v.rör Sätrabadet (Mälaren)
24	Långsjön		122M1202MF	148286	6572574	32,005	2,35	Långsjöv 169, vid träd bakom Stockholm Vattens byggnad	Nytt 63mm (innerdiameter 50mm) PEH-miljörör 2012 med 1 m PEH filter i botten - på 0,66-1,66 m djup. Parkmark intill Långsjön .
26c	Högdalstoppen		136C53	153623	6570748	39,35	6,39	Fagersjövägen 203/205	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, ev nedströms Högdalstippen
27	(23)Gubbängen	1997,2006	126D174	153960	6571965	34,75	9,14	Majrovägen Gubbängens idrottsplats	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, idrottsplats, väg och motorbana men sannolikt mest tillrinning från skog.
28a	Skogskyrkogården brunn		BRUNN	156207	6572799			Skogskyrkogården, Skogsfurans väg	Brunn på Skogskyrkogården, i strömningsriktning från åsrygg, ev i åsmaterial eller svallsediment från ås.
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck		118C107	156698	6572845	26,89	13,12	Trohetsvägen 20-22	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (villa)bebyggelse, koloniträdgårdar och idrottsplats (vattnet skummade vid provtagning och luktade lösningsmedel).
29	Tallkrogen/Olympiav		117C145	155052	6572895	31,73	2,3	Olympiav 27	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, åsinslag, (villa)bebyggelse.
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	1997, 2006	138Dkälla	157409	6570978			Efraim Dahlins v 11	Källa i åskant, enl notering 1997 schaktmassetipp.
31	(50)Skrubba	2006	MF 2004 Skrubba	160446	6569289	38,82	8,26	Skrubba allé 51	2-tums PEH-miljörör från 2004 med 1 m PEH filter 0,5 m från botten, i ås eller svallsediment, inom område med kyrkogård.
32	(53)Enskede/Kärtrorp - Ältasjön	1997, 2006	108A156	156854	6574178	33,72	13,58	Vikstensvägen 38	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, gles bebyggelse, ev tillrinning till Ältasjön (ev istället Dammtorpssjön , Söderbysjön). Notering från 1997: El, gas, värme.
32b	Björkhagen		98a215u	156435	6575500	29,75	11,54	Axvallsv 34	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, gles bebyggelse.
33	(43)Enskede gård	1997, 2006	96C317	153597	6574906	25,02	5,82	Enskede gårdsv 2	Nivårör men ej i nivåprogram, 9 mm rör? Notering 1997: industriområde, bensinstation.
33b	Johanneshov		106D76	154606	6574035	21,02	4,55	Mellanvägen 6, vid Sockenvägen 413, Enskede	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, gles (villa+flerbostadshus)bebyggelse.
33c	Gla Enskede/Dagöv		106B188	154058	6574346	18,56	5,44	Odelbergsvägen - Dagövägen	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, gles (villa+flerbostadshus)-bebyggelse nära parkering och T-bana.
33d	Gla Enskede/Sockenv		107C37	154915	6573801	24,76	5,07	Sockenvägen 444, vid Källvägen	Nivårör i nivåprogram, 4 cm järnrör, gräsyta mellan vägfält i område med (villa)bebyggelse.
33f	Stureby/Kottgatan		106C94	153282	6573865	28,03	5,08	Tussmötev/ Kottgatan	Nivårör i nivåprogram, 1 tums järnrör?, gles (villa) bebyggelse.

Tabell 2. Sammanställning över provpunkter. Tidigare använda provtagningsplatser har beskrivits i Miljöförvaltningen (1997) och/eller Miljöförvaltningen (2006). Huvuddelen av rören används vid stadens program för nivåmätning.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Tidigare provtagen	Rörbeteckning	X koordinat (Sweref 99 18.00)	Y koordinat (Sweref 99 18.00)	Röröverkant (rörtoppnivå) (RH00)	Avstånd röröverkant till rörbotten	Adress	Rörtyp och beskrivning
37b	Sköndal/Spettekakev		137D170	155740	6571029	23,48	12,2	Spettekaksvägen 33-35, Sköndal	Nivårör i nivåprogram, 4 cm järnrör utan slang, ev ås eller svallmaterial från ås, i buskage vid bullerskydd mot Nynäsvägen. I tillrinningsområde till Drevviken .
37c	Flaten/Ekens koloniområde		139M1203MF	158032	6571203	24,368	3,3	Ekens koloniområde - intill fotbollsplanen vid föreningshuset	Nytt 63 mm (innerdiameter 50 mm) PEH-miljörör 2012 med 2 m PEH filter i botten - på 0,66-2,66 m djup. "Allmänning" i koloniområde, litet gr.v magasin m avloppstank. I tillrinningsområde till Flaten .
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)		VATTENDRAG	158192	6571119			Vattendrag - provtaget ovanför överfallsdamm till opp Flaten	Vattendrag - från dagvattendamm, nedströms gr.v rör Flaten/Ekens koloniområde med tillrinning till Flaten .
39b	Fagersjöviken		146D14	154600	6569857	37,78	10,58	Värmlandsv 279, Farsta, under stor gran vid gräsmark intill radhus	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, (radhus)bebyggelse, med tillrinning till Fagersjöviken (vik i Magelungen).
40a	Södermalm V/Verkstadsgr		65C529	151792	6578070	14,2	6,64	Verkstadsgr 2	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstadsbebyggelse.
40e	Södermalm V/Långholmsg		65C215	151899	6577888	10,51	5,07	Långholmsg 32	Nivårör i nivåprogram, 4,5 cm (2-tums) plaströr, däcksel, innerstadsbebyggelse.
41b	Lilla Bleckan		77C75	154928	6577127	14,09	10,42	Katarina Bangata vid Lilla Blecktornsparken	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel i ej hårdgjord yta med träd och lyktstolpar intill park, innerstadsbebyggelse.
41c	Eriksdalsbadet		76D645	154211	6576751	7,96	6,9	I park ovanför Eriksdalsbadet	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, i park intill koloniträdgårdsområde, omgärdad av vägar och innerstadsbebyggelse, ev i ås eller svallsediment, tillrinning till Årstaviken .
42d	Gla stan/ Slussenproj.		66B412	154209	6578550	2,43	12,06	Skeppsbron 46 (kvarteret Achilles)	50 mm plaströr m 1 m filter, däcksel, används av Tyréns inför ombyggnad Slussen. Väg (och kajområde), innerstadsbebyggelse, i ås (ev inslag av fyllnadsmassor). Avrinning till Saltsjön .
42e	Sjöbergs plan		TGW0802	154033	6578461	2,92	5,77	Sjöbergs plan	2-tums PEH-miljörör m 2 (eller 3) m filter, däcksel, används av Tyréns inför ombyggnad Slussen. Väg (och kajområde), innerstadsbebyggelse, i ås, ev avrinning till Riddarfjärden .
42f	Franska bukten		TGW0803	154239	6578353	1,71	4,83	Franska bukten, vid en byggnad	2-tums PEH-miljörör m 2 (eller 3) m filter, däcksel, används av Tyréns inför ombyggnad Slussen. Kaj (och vägområde), innerstadsbebyggelse, i ås/fyllnadsmassor, avrinning till Saltsjön .
42g	Kornhamnstorg		TGW0806	154043	6578621	2,35	4,48	Kornhamnstorg	2-tums PEH-miljörör m 2 (eller 3) m filter, däcksel, används av Tyréns inför ombyggnad Slussen. Torg (väg och kajområde), innerstadsbebyggelse, i svallsediment/ås, ev avrinning till
43	K-trädg		56B334	153983	6579560	7,32	10,7	Västra Trädgårdsgatan 2, K-trädgården	Nivårör i nivåprogram, 4 cm järnrör utan slang, däcksel, i ås, överlagrad av fyllnadsmassor. Avrinning till Saltsjön .
44	(16A)Åsen Norrmalm	1997	46D941	154146	6579844	2,24	3,54	Nybroplan/Smålandsgatan 16	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, snarare fyllnadsmassor än ås där, Avrinning till Nybroviken (Saltsjön).
44b	Östermalm		46B433ö	154509	6580573	14,45	5,78	Grev Tureg 53	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstadsbebyggelse.
44c	S. Östermalm/Strandv		57A78ö	154886	6579640	2,21	2,62	Strandv 27	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör?, däcksel, innerstads-bebyggelse. Fyllnadsmassor. Avrinning till Nybroviken (Saltsjön).
45	(19)Engelbrektsplan	1997	46B439	154037	6580246	4,66	4,9	Birger Jarlsgatan 30	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstads-bebyggelse, enl notering 1997: bilservice, tryckerier, fotolabb? I kant till fyllnadsmassor.
45d	Vasastan N/Upplandsgr		35B247	152519	6581294	22,53	8,61	Upplandsgatan 91A	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, innerstadsbebyggelse, i ås/svallsediment.
45f	Vasastan S/Torsgränd		45B164	152600	6580232	12,16	5,99	Torsgränd 4-6	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör?, gräsyta i innerstads-bebyggelse. Avrinning till Karlbergskanalen/Klara sjö .
46b	N Djurgården		47D14	155767	6579738	7,24	7,62	Strandvägen 76, Laboratoriegatan vid Engelska kyrkan	Nivårör i nivåprogram, 9 mm rör, däcksel, väg och park, avrinning till Djurgårdsbrunnsviken .
46d	N. Östermalm/Tessinparken		37C257u	155427	6580828	16,8	8,27	DeGeersg/Tessinparken	Nivårör i nivåprogram, 9 mm plaströr, i park omgiven av innerstadsbebyggelse.

Tabell 2. Sammanställning över provpunkter. Tidigare använda provtagningsplatser har beskrivits i Miljöförvaltningen (1997) och/eller Miljöförvaltningen (2006). Huvuddelen av rören används vid stadens program för nivåmätning.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Tidigare provtagen	Rörbeteckning	X koordinat (Sweref 99 18.00)	Y koordinat (Sweref 99 18.00)	Röröverkant (rörtoppnivå) (RH00)	Avstånd röröverkant till rorbotten	Adress	Rörtyp och beskrivning
47a	(9A)Värtahamnen	2006	kv Hamburg	156210	6581267	okänd	13,07	Andra Bassängv 6/Malmvägen 1 (kv Hamburg)	1-tums metallrör utan slang, ej i nivåprogram, industri/handelsområde. Avrinning till Lilla Värtan
48b	(8B)Hjorthagen/Tennishallen	1997, 2006	27D293	155525	6581748	3,56	5,46	Lidingövägen 75 (Kgl Tennishallen), vid järnvägsspår	9 mm rör, ej i nivåprog, banvall, notering 1997: grafisk produktion, industriområde. Ev avrinning till Lilla Värtan .
50	Bellevue/Norra Länken		25D805	152614	6581886	4,65	18,5	Bellevueparken vid väg intill Stallmästargårdens båtklubb	2-tums järnrör med spets på -14,25 o filterlängd 0,5 m, Norra Länken mäter i röret. Parkområde. I ås. Avrinning till Brunnsviken (när det inte pumpas pga bygge vid Roslagstull).
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb		25M1205MF	152613	6581929	1,855	5,91	Stallmästargårdens båtklubb	Nytt 2-tums (innerdiameter ca 51 mm) stålrör 2012 med 2 m PEH-filter i botten - på 3,14-5,14 m djup. I hamnområde med båtverksamhet sedan ca 1800 vid Brunnsviken . I ås/fyllnadsmaterial.
53a	Skansen 401		401	156312	6579197	18,75	6,46	Sirishovsvägen	63 mm PEH-miljörör med 1 m filtersats i nedre del, provtas av WSP i Skansens kontrollprogram. Parkmark. Avrinning till Djurgårdsbrunnsviken . (Snitt uppströms 402 och 403)
53b	Skansen 402		402	156272	6579237	16,75	5,39	Sirishovsvägen	63 mm PEH-miljörör med 2 m filtersats i nedre del, provtas av WSP i Skansens kontrollprogram. Parkmark. Avrinning till Djurgårdsbrunnsviken . (Snitt uppströms 403).
53c	Skansen 403		403	156252	6579257	16,45	4,41	Sirishovsvägen	63 mm PEH-miljörör med 2 m filtersats i nedre del, provtas av WSP i Skansens kontrollprogram. Parkmark. Avrinning till Djurgårdsbrunnsviken .

3.2 Provtagning

Provtagning genomfördes från november 2011 till januari 2012 respektive från maj till juni 2012. Detta för att fördela kostnad och arbete över två år. Grundvattenprovtagning görs vanligtvis under våren, och vid några provpunkter togs prov både vår och vinter för att undersöka om årstidsvariationen var så hög att man behöver ta hänsyn till tidpunkt på året.



Figur 2. Provtagningsutrustning för provtagningen i nivå rör, i nivå rör under däcksel (till vänster), i den vanligaste typen av nivå rör (till höger) och i miljörör (nedan).



En peristaltisk pump (se Figur 2) användes vid provtagningen i nivå rören, och silikonslang (ny för varje prov) användes för att koppla på befintlig slang i röret. Där det fanns behov av förlängd slang användes även en fastare av polyeten. För miljörören av större diameter användes en sänkpump. För provtagningen i källa, brunn och bäck togs prov direkt i provtagningsflaska. Minst tre rörvolymmer omsattes alltid innan provtagning i rör. Innan provtagning

mättes rördjup och grundvattennivå från röröverkant, pH, konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga) och temperatur och då sådan utrustning fanns, även redox och syre. Provkärl avsedda för respektive mätvariabel tillhandahölls från laboratoriet, 0,1-2 liter per ämnesgrupp (där ämnesgrupperna är fetmarkerade i Tabell 3). Många rör hade dålig tillströmning, vilket gjorde att omsättning och provtagning ofta tog lång tid, upp till tre timmar per rör. Många rör visade sig vara helt ur funktion och kunde därför inte användas. Från "långsamma" rör, som det ändå gick att få upp vatten ur, togs bara prov för några få parametrar. Problemen med rören gjorde att den ursprungliga planen för provtagning fick justeras dagligen och andra rör letas upp i närområdet. Prov förvarades i kylväska och transporterades till labb så snabbt som praktiskt möjligt; vanligtvis dagligen. Prov förva-

rades i kylskåp över natten innan transport till labb, de dagar då labbmottagningen hade hunnit stänga när provtagningen avslutats.

3.3 Parametrar, analysmetodik och rapporteringsgränser

Valet av parametrar utgick från vad som mätts vid de tidigare två publicerade undersökningarna och där man funnit detekterbara halter eller där man haft hög rapporteringsgräns. För att göra en värdering av vilka andra organiska miljögifter som borde ingå i en ny undersökning gjordes en utvärdering av andra listor över ämnen; bl.a. vattendirektivets prioriterade ämnen (2008/105/EG), Helsingforskommissionens urval av ämnen som påverkar livet i Östersjön och som listats i Baltic Sea Action Plan (se t.ex. Andersson m.fl. 2012) och ämnen som används vid bedömning av kemisk status för grundvatten (SGU-FS 2008:2). Genomgången kompletterades med sådana ämnen man funnit i andra urbana grundvattenundersökningar i Sverige eller Europa eller i dag-, avlopps- eller ytvatten i Stockholm. Exempel på sådana ämnen är bisfenolA och perfluorerade ämnen (andra än PFOS). Valet påverkades också av vilka ämnen som ingick i analyspaket, och till viss del också av analyskostnader. Vidare beskrivning av valet av parametrar finns i Fried (2013).

Eftersom många ämnen förekommer i avloppsvatten bedömdes det viktigt att kunna särskilja den källan från andra och därför välja några parametrar som skulle kunna identifiera just läckage från avlopp. Koffein är ett ämne som kan påvisa pågående avloppspåverkan eftersom ämnet bryts ner relativt snabbt.

Parametrar, analysmetod, laboratorium och angivna rapporteringsgränser visas i Tabell 3. Laboratoriet som utfört analysen har varit ackrediterat för analysmetoden, förutom att ALS inte har varit ackrediterade för att filtrera prov, och inte heller för summering av PAHer, men för själva analysen av PAHer. Före metallanalyser filtrerades proven på labb, medan övriga analyser utförts på ofiltrerade prov (om inget annat anges i resultattabellerna). Kvicksilver och totalfosfor har analyserats både på filtrerade och ofiltrerade prov. Orsaken till att vissa ämnen analyserats på filtrerade och andra på ofiltrerade prov är att öka möjligheten till jämförelser med tidigare undersökningar. Nitratkväve, nitritkväve samt ammoniumkväve har i enstaka fall analyserats på filtrerat prov p.g.a. komplex matris. Där rapporteringsgränsen i resultattabellerna för enskilda prov är högre än de i Tabell 3, beror det på att proven bedömts behövas spädas för att inte skada analysutrustningen. Mätosäkerheten har varierat mellan 8 och 30 %, för resultat över rapporteringsgräns. Mätosäkerheten är angiven i resultatfilerna från laboratorierna, är specifik för varje provresultat, men har inte tagits med i rapporten.

Temperatur, pH, konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga) och syrehalt mättes med utrustning direkt i samband med provtagningen i fält. Syrehalt mättes endast vid vårens provtagning.

Organiskt kol har analyserats som TOC (totalt organiskt kol) och är också den parameter som analyserats i tidigare undersökningar. Vill man kunna tolka effekterna av organiskt kol på vattnets sammansättning av andra ämnen, framförallt metaller, är emellertid DOC (löst organiskt kol) ofta en bättre parameter. En parameter som heller inte analyserats men också påverkar rörligheten hos olika ämnen är turbiditet (grumlighet). Många prov var synbart grumliga och eftersom många ämnen adsorberas till partiklar och transporte-

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

ras på det sättet i marken, kan turbiditeten påverka halten av både metaller, där proven filtrerats innan analys, och organiska ämnen, där proven inte filtrerats.

Utöver kemiska variabler har några prov analyserats på bakterieinnehåll. Syftet med att ha med mikrobiologiska analyser 2011/2012 var att kunna jämföra resultaten med de man får från badvattenprovtagningen, med ursprunglig tanke att endast provta för dessa analyser på platser i anslutning till badvattnen där man har kvalitetsproblem, för att identifiera om bakterier når vattnet via grundvattentransport. Alltså valdes metoder jämförbara med dem som används vid badvattenprovtagningen. Vid provtagningen visade sig många vatten vara grumliga och missfärgade och där valdes att också provta för bakterieanalyser. Grumlighet skulle kunna orsakas av avloppspåverkan. Mikrobiologiska parametrar analyserades också vid de två tidigare undersökningarna men olika mikrobiologiska tester har använts vilket gör att resultaten inte är helt jämförbara.

Tabell 3. Parametrar, metod och labbets angivna rapporteringsgräns

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
Temperatur	°C	Mätt direkt i fält, efter att tre rörvolym vatten omsatts (för prov tagna nov 11-jan 12) med utrustningen Eutech Instruments, CyberScan, Con 11 för konduktivitet/temperatur och (för prov tagna maj-juni 2012) med multimeter Professional Series, YSI.
pH (vid fälttemperatur)	-	Mätt direkt i fält, efter att tre rörvolym vatten omsatts (för prov tagna nov 11-jan 12) med utrustningen Eutech Instruments, CyberScan, pH 11 för pH-värde/temperatur och (för prov tagna maj-juni 2012) med multimeter Professional Series, YSI.
Konduktivitet (Elektrisk ledningsförmåga)(vid fälttemperatur)	µS/cm	Mätt direkt i fält, efter att tre rörvolym vatten omsatts (för prov tagna nov 11-jan 12) med utrustningen Eutech Instruments, CyberScan, Con 11 för konduktivitet/temperatur och (för prov tagna maj-juni 2012) med multimeter Professional Series, YSI.
Syre, O ₂	mg/l	Mätt direkt i fält, efter att tre rörvolym vatten omsatts (för prov tagna maj-juni 2012) med multimeter Professional Series, YSI.
Basparametrar:		
Alkalinitet, HCO ₃	10 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	SS EN ISO 9963-2 (mätosäkerhet 10%) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SL586: Alkalinitet i vatten mg/l (ALKANITET)
Sulfat, SO ₄	1 mg/l	StMeth 4500-SO ₄ / Kone (mätosäkerhet 15%) I ett fall (44 Åsen Norrmalm 5/12 -11) EN ISO 10304 (jonkromatograf) pga komplex matris Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SL739: Sulfat i vatten (SULFAT_K)
Klorid, Cl	1 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	St Meth 4500-Cl / Kone (mätosäkerhet 15%) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping),

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
		SL733: Klorid i vatten (KLORID_K)
Ammonium-kväve, NH ₄ -N	3 µg/l	SS-EN 11732:2005 / QuAAtro (mätosäkerhet 10-15%) (normalt analyserat på ofiltrerat prov men när matrisen bedömts komplex har prov filtrerats före analys, markeras som blå siffror i Tabell 6, fyra prov från jan 2012; 10c Äppelviken, 28c Gla Tyresöv/Skarpnäck, 37b Flat-en/Spettekakevägen och 39b Fagersjöviken analyserade på frysta prov, markerat som grönt i Tabell 6) i några fall Kone (mätosäkerhet 15 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SLE69: Ammonium-kväve i recvatten (AM_NI_QU)
Nitrat-kväve, NO ₃ -N	1 µg/l (Kone 100 µg/l)	SS 028133 / QuAAtro (mätosäkerhet 10-15%) (normalt analyserat på ofiltrerat prov men när matrisen bedömts komplex har prov filtrerats före analys, markeras som blå siffror i Tabell 6, fyra prov från jan 2012; 10c Äppelviken, 28c Gla Tyresöv/Skarpnäck, 37b Flat-en/Spettekakevägen och 39b Fagersjöviken analyserade på frysta prov, markerat som grönt i Tabell 6) i några fall Kone (mätosäkerhet 10-20 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SLE67: Nitrat-kväve i vatten (NITRAT_QU)
Nitrit-kväve, NO ₂ -N	1 µg/l (Kone 2 µg/l)	SS-EN 26777 / QuAAtro (mätosäkerhet 10-15%) (normalt analyserat på ofiltrerat prov men när matrisen bedömts komplex har prov filtrerats före analys, markeras som blå siffror i Tabell 6, fyra prov från jan 2012; 10c Äppelviken, 28c Gla Tyresöv/Skarpnäck, 37b Flat-en/Spettekakevägen och 39b Fagersjöviken analyserade på frysta prov, markerat som grönt i Tabell 6) i några fall Kone (mätosäkerhet 15 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SLE68: Nitrit-nitrogen, NO ₂ -N, (NITRIT_QU)
Total-kväve, N	0,010 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	SS-EN ISO 11905-1 mod/Skalar (mätosäkerhet 10-25 %) i fallen 5b Kyrksjön 26/11 och 6 (55) Beckomberga 26/11 Kone) (mätosäkerhet 10 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SLD48: Totalkväve, (KVÄVE_SAN)
Fosfat-fosfor; PO ₄ -P	5 µg/l	SS-EN ISO6878:2005 /KONE (mätosäkerhet 30 %) eller TRAACS (mätosäkerhet 15-30 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping), SLD69: Fosfatfosfor, (FOSFAT_K)
Total-fosfor, P	5 µg/l	SS-EN ISO 15681-2 /Skalar (mätosäkerhet 10-25 %) och i två fall 6 (55) Beckomberga 26/11 och 10 Riksby 28/11 SS-EN ISO 6878:2005/TRAACS (mätosäkerhet 10 %)

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
		Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping) SLD47: Totalfosfor, (FOSFOR_SAN)
Total-fosfor, P (filtrerat)	1 µg/l	Filtrering 0,45 µm, efter ankomst till labb, innan fortsatt behandling. V2, Bestämning av metaller (totalhalt) utan föregående uppslutning. Provet surgjort på labb, efter filtrering, med 1ml saltpe-tersyra (suprapur) per 100 ml. Analys med EPA-metod 200.8 (ICP-SFMS), rev 2011-03-24 ALS Scandinavia AB (Luleå)
Total organiskt kol, TOC	1mg/l (alla prov över rapp.gräns)	SS EN 1484 (mätosäkerhet 10-20 %) Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping) SL873: TOC i vatten (TOC_G)
Baskatjoner och metaller:		
Kalcium, Ca	2 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	Filtrering 0,45 µm, efter ankomst till labb, innan fortsatt behandling. V2, Bestämning av metaller (totalhalt) utan föregående uppslutning. Provet surgjort på labb, efter filtrering, med 1ml saltpe-tersyra (suprapur) per 100 ml. Analys med EPA-metod 200.7 (ICP-AES) ALS Scandinavia AB (Luleå)
Kalium, K	1 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Magnesium, Mg	2 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Natrium, Na	1 mg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Kisel, Si	0,2 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Barium, Ba	0,5 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Strontium, Sr	1 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Järn, Fe	0,6 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Mangan, Mn	0,6 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Aluminium, Al	0,2 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Arsenik, As	0,1 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,7 µg/l)	
Kadmium, Cd	0,002 µg/l (ngt prov rapp.gräns 0,003 µg/l)	
Kobolt, Co	0,01 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Molybden, Mo	0,07 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Krom, Cr	0,01 µg/l	
Koppar, Cu	0,1 µg/l	
Nickel, Ni	0,1 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Bly, Pb	0,01 µg/l	
Zink, Zn	0,5 µg/l (alla prov över rapp.gräns)	
Kvicksilver, Hg	0,002 µg/l	Som ovan men analys med AFS enligt SS-EN ISO 17852:2008. Rev 2011-03-25 ALS Scandinavia AB (Luleå)
Kvicksilver, Hg (ofiltrerat)	0,002 µg/l (flera prov har rapporterats med högre rapporteringsgräns – upp till 0,02 µg/l)	Utan föregående filtrering, i övrigt som ovan
PAH-16 (EPA):		
Antracen	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,02 µg/l) (0,001 µg/l önskad)	PAH 16 med GC-MS, då sämre rapporterings-gräns fått har GC-MS metod baserad på CSN EN ISO 11396, rev 2011-01-21 använts (gav högre rapporteringsgräns än upphandlat) ALS Laboratory group (Prag, Tjeckien)
Fluoranten	0,01 µg/l (flera prov 0,03 µg/l) (0,001 µg/l önskad)	
Naftalen	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,1 µg/l)	
Benzo(a)antracen	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	
Krysen	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	
Benzo(b)fluoranten	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
Benzo(k)fluoranten	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	
Benzo(a)pyren	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,02 µg/l) (0,001 µg/l önskad)	
Indeno(1,2,3,c,d)pyren	0,01 µg/l	
Dibenzo(a,h)antracen	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	
Acenaftylen	0,01 µg/l	
Acenaften	0,01 µg/l	
Fluoren	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,02 µg/l)	
Fenantren	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,03 µg/l)	
Pyren	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,06 µg/l) (0,001 µg/l önskad)	
Benzo(g,h,i)perylen	0,01 µg/l (0,001 µg/l önskad)	
Summa cancerogena PAH (benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, di- benso(ah)antracen och in- deno(123cd)pyren)	0,035 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,19 µg/l)	Se ovan
Summa övriga PAH	0,045 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,15 µg/l)	Se ovan
Klorerade o bromerade alifater och BTEX:		
Diklormetan	0,1 µg/l	OV-6B + tillägg, bestämning av klorerade och bromerade alifater, med purge & trap GC-MS GBA (Pinneberg, Tyskland), genom ALS
Triklormetan (kloroform)	0,1 µg/l	
Tetraklormetan	0,1 µg/l	
1,1-dikloreten	0,1 µg/l	
1,2-dikloreten	0,1 µg/l	
1,1,1-trikloreten	0,1 µg/l	
1,1,2-trikloreten	0,1 µg/l	
1,2-diklorpropan	0,1 µg/l	
trans-1,2-dikloreten	0,1 µg/l	
cis-1,2-dikloreten	0,1 µg/l	
Trikloreten	0,1 µg/l	
Tetrakloreten	0,1 µg/l	
Vinylklorid	0,1 µg/l	
1,2-dibrommetan	0,1 µg/l	
dibromklormetan	0,1 µg/l	
bromdiklormetan	0,1 µg/l	
Bensen	0,1 µg/l	OV-5B bestämning av monocykliska aromatiska kolväten, med purge & trap GC-MS GBA (Pinneberg, Tyskland) genom ALS
Toluen	0,1 µg/l	
Etylbensen	0,1 µg/l	
Xylener summa	0,1 µg/l	
Fenolära ämnen:		
Bisfenol A	0,01 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,05 µg/l)	DIN EN 12673-F15, rev 2011-02-07 (samma metod men olika rapporteringsgräns, beroende av provvolym) GBA (Pinneberg, Tyskland) genom ALS

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
4-tert-oktylfenol (OF, para)	0,01 µg/l	OV-18E, bestämning av 4-nonylfenol, 4-t-oktylfenol och etoxilater. Extraktion med ter-butylmetyleter, rening av extraktet med kiselgel samt derivatisering med MSTFA. Mätning med GC-MS GBA (Pinneberg, Tyskland) genom ALS
4-tert-OF-mono-etoxilat	0,01 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
4-tert-OF-di-etoxilat	0,01 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
4-tert-OF-tri-etoxilat	0,01 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
4-nonylfenoler (NF, teknisk blandning, grenad)	0,1 µg/l	
4-NF-mono-etoxilat	0,1 µg/l (i något fall rapp.gräns 0,2 µg/l, alla prov under rapp.gräns)	
4-NF-di-etoxilat	0,1 µg/l (i något fall rapp.gräns 0,2 µg/l, alla prov under rapp.gräns)	
4-NF-tri-etoxilat	0,1 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Ftalater:		
Dimetyl-ftalat	0,6 µg/l	O-4 Metod baserad på EPA 8061 A, GC-MS, rev 2011-08-31 (för DEHP olika rapporteringsgräns trots samma metod och volym vatten) ALS Laboratory group (Prag, Tjeckien)
Dietyl-ftalat	0,6 µg/l	
Di-n-propyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Di-n-butyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Di-isobutyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Di-pentyl-ftalat	0,6 µg/l	
Di-n-oktyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Di(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)	0,5 µg/l (i flera fall rapp.gräns 1,3 µg/l)	
Butyl-bensyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Di-cyklohexyl-ftalat	0,6 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	
Perfluorerade ämnen:		
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	5 ng/l	AIR OC 150 Eurofins GfA Lab Service GmbH (Hamburg, Tyskland) GF014: PFC (1 l st) i vatten (PFC_GFA_V)
Perfluoroktansyra (PFOA)	5 ng/l	
Perfluoroktansulfonamid (PFOSA)	5 ng/l	
Perfluornonansyra (PFNA)	5 ng/l	
Perfluorhexansyra (PFHxA)	5 ng/l	
Perfluorhexansulfonat (PFHxS)	7,5 ng/l	
Perfluordodekansyra (PFDoA)	5 ng/l	
Perfluordekansulfonat (PFDS)	7,5 ng/l	
Perfluorheptansyra (PFHpA)	5 ng/l	
Perfluordekansyra (PFDA)	5 ng/l	
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	7,5 ng/l	
Bekämpningsmedel o liknande:		
2,6-diklorbenzamid, BAM	0,05 µg/l	Bestämning av BAM med LC-MS-MS. ALS Laboratory group (Prag, Tjeckien)
Glyfosat	0,05 µg/l (alla prov under rapp.gräns)	Mätning med LC-MS-MS, rev 2011-10-13 ALS Laboratory group (Prag, Tjeckien)
AMPA	0,05 µg/l	Se ovan
Tennorganiska föreningar:		
Mono-butyltenn	1 ng/l	OV-19A, bestämning av tennorganiska föreningar enligt DIN EN ISO 17353 (F13). Mätning med GC-FPD. GBA (Pinneberg, Tyskland) genom ALS
Di-butyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l)	
Tri-butyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l)	
Tetra-butyltenn	1 ng/l i ett fall rapp.gräns 2 ng/l)	

Grundvatten i Stockholm

Metodik för undersökning av grundvattnets kvalitet

Parameter	Rapporteringsgräns och enhet	Analysmetod, eventuell provbehandling och laboratorium
Mono-oktyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Di-oktyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Tricyklo-hexyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Mono-fenyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Di-fenyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Tri-fenyltenn	1 ng/l (i ett fall rapp.gräns 2 ng/l, alla under)	
Övrigt:		
Koffein	0,001 µg/l (flera prov rapp.gräns 0,005, 0,02 eller 0,05 µg/l)	Mätning med LC-MS-MS, rev 2011-12-29, vilket innebär att metoden kan ha skiljt sig för prov tagna före detta datum och efter, men där det finns dokumentation framgår att även prov tagna i början av december 2011 analyserats med samma metod. GBA (Pinneberg, Tyskland) genom ALS
Bakterier:		
Escherichia coli	1 antal/100ml	IDEXX Colilert-18 (35°C på ofiltrerat prov) (För proven 9 (10C) Ulvsunda och 10 (56B) Riksby (Lillsjön) från 28/11 -11 istället SS 028167-2 (35°C på filtrerat prov) Eurofins Environment Testing Sweden (Stockholm))
Intestinala enterokocker	1 antal/100ml	SS-EN ISO 7899-2:2000 (35°C på filtrerat prov) För 3 prov från maj 2012 (24 Långsjön, 37c Flaten/Ekens koloniområde och 39b Fagersjö-viken) istället IDEXX-Enterolert (41°C på ofiltrerat prov) Eurofins Environment Testing Sweden (Stockholm)
Odlingsbara mikroorganismer 22°C	1 antal/ml	ISO 6222 mod Eurofins Environment Testing Sweden (Stockholm) Endast analyserat för proven 9 (10C) Ulvsunda och 10 (56B) Riksby (Lillsjön) från 28/11 -11
Långsamväxande bakterier	1 antal/ml	ISO 6222 mod Eurofins Environment Testing Sweden (Stockholm) Endast analyserat för proven 9 (10C) Ulvsunda och 10 (56B) Riksby (Lillsjön) från 28/11 -11

3.4 Jämförelser med bedömningsgrunder för grundvatten

Bedömningsgrunder för grundvatten

För att bedöma graden av påverkan har halterna som uppmätts jämförts med den indelning i tillståndsklasser och påverkansbedömning som beskrivs i Bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013). Dessa i sin tur är anpassade till angivna koncentrationsnivåer för bedömning av kemisk status (riktvärden eller startpunkt för att vända uppåtgående trend) enligt SGUs föreskrifter om statusklassning och miljö kvalitetsnormer för grundvatten (SGU-FS 2008:2). I resultattabellerna har provresultaten färgsatts utifrån dessa bedömningsgrunder, rött för klass 5, vilket motsvarar mycket hög halt, orange för klass 4, vilket motsvarar hög halt och gult för klass 3, som motsvarar måttlig eller relativt hög halt (utom för vissa parametrar där särskilda beskrivningar för respektive klass gäller). Syftet med färgsättningen har varit att ge en visuell bild av tillståndet. Gränserna för tillståndsklasserna framgår av respektive resultattabell, där tillståndsklasser och hur de definieras står som rader direkt efter resultaten för respektive provpunkt.

För flera ämnen som analyserats saknas emellertid bedömningsgrunder för grundvatten. För dessa har motsvarande färgsättning gjorts, men med blekare färg och gränser som inte motsvaras av några fastställda klasser. Eftersom dessa ämnen är mänskligt producerade och spridda och därför inte bör förekomma naturligt valdes att färgsätta alla prov över rapporteringsgräns, i blekt gult eller för något högre halter blekt orange, eller, för de med högst halt, blekt rött. Ingen jämförelse har gjorts med halter för olika grad av effekt eller risk, vilket gör att blekt rött inte nödvändigtvis innebär en problematisk halt men också att redan blekt gult kan innebära risk. Eftersom rapporteringsgränsen i vissa fall är hög i förhållande till bl.a. miljö kvalitetsnormer för ytvatten, kan även halter under rapporteringsgräns i princip utgöra ett problem.

Många ämnens löslighet, förekomstform och rörlighet påverkas starkt av mängden organiska ämnen. I undersökningen valdes att analysera TOC, vilket är en parameter som inte finns med i bedömningsgrunder eftersom dessa huvudsakligen är baserade på data från mätningar i dricksvatten, där man sällan mäter TOC. Vill man kunna jämföra med bedömningsgrunder bör man komplettera med COD_{Mn} (oxiderbarhet, som är ett mått på mängden organiska ämnen, främst naturliga, som t.ex. humussyror).

Jordgrundvatten i Upplands kalkpåverkade område

För parametrar där det funnits data från den geografiska region som Stockholm ingår i, Upplands kalkpåverkade område, enligt bilaga 10 i SGU (2013), har resultaten också jämförts med halter som är vanliga i regionen. Medianvärden för jordgrundvatten i Region F (enligt SGU, 2013) har tagits med i resultattabellerna som en särskild rad (i grönt), där sådana funnits. För att få fram dessa regionala medianhalter har data lagts ihop för prov tagna i Upplands kalkpåverkade område, i grundvattentrör, källor, enskilda brunnar och större vattentäkter i jordlager. Enskilda brunnar dominerar bland provtagningarna, vilket gör att man kan

anta att det är relativt få av dessa prov som är tagna i urbant påverkad miljö. Jämförelsen bör därför kunna betraktas som en jämförelse mot bakgrundshalter i regionen. Antalet analyser som funnits med i den regionala sammanställningen har varit mellan 112 och 586 för de parametrar där median angetts, vilket gör det statistiska underlaget bra.

3.5 Rubriker som återkommer för varje kapitel i resultatdelen

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

För varje parameter där data finns både från vintern 2011/2012 och våren 2012 har resultaten jämförts.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

När prov tagits både från ytvattendragen Flatendiket och Sättraån och i grundvattnet rör uppströms/intill dessa provpunkter, har halter jämförts.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Eftersom Flatendiket och Sättraån inte är ytvattenrecipienter för alla stadens grundvatten, har resultaten också jämförts med vad man uppmätt i andra undersökningar av ytvattenkvalitet i stadens sjöar och vattendrag. Dessa jämförelser har gjorts på mer generell nivå, eftersom grundvattenproven ändå inte enskilt kan förväntas vara representativa för hela tillrinningen av grundvatten till respektive sjö/vattendrag. Jämförelsen ger ändå en indikation om likheter och skillnader.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Eftersom det finns ett flöde både till grundvattnet från avlopps- och dagvattenledningarna och i motsatt riktning har sådana haltjämförelser också gjorts för alla parametrar som mätts i grundvatten och där Pettersson och Wahlberg (2010), Stockholm Vatten vid personlig kommunikation eller via miljörapporter levererat information om halter i inkommande avloppsvatten till Stockholms reningsverk (eller Paxeus, 1999, rapporterad data från Göteborg) och/eller där information funnits om typiska dagvattenhalter i liknande urbana miljöer som vi har i Stockholm i Larm (2012), i Björklund (2011) eller i Henriksson (2011) Även dessa jämförelser har gjorts på en generell nivå, eftersom halterna från en läckande spillvatten- eller dagvattenledning kan skilja sig betydligt från de som mäts i inkommande vatten till reningsverken (som består av både spill-, dag- och dränvatten, bl.a. inträngande grundvatten) eller från ett ”typiskt” dagvattenprov. I flera fall har dataunderlaget varit litet. Eftersom flera ämnen som kan läcka vid ett ledningsläckage dessutom kan förväntas spädas ut, fastläggas, tas upp av vegetation eller på andra sätt påverkas av transporten genom mark- och grundvattenzonen är det inte helt enkelt att säkert påvisa sådana läckage som lokala källor. Det finns alltså stora osäkerheter i en sådan jämförelse.

4 RESULTAT

4.1 Parametrar mätta i fält

Mätresultat från parametrar mätta i fält presenteras i Tabell 4.

Grundvattennivå

Grundvattennivå är en parameter som kan påverka vattenkvaliteten. Om prov tas när grundvattennivån är hög innebär det att vattnet kan ha haft en kortare tid för interaktion med marken i grundvattenzonen, eftersom grundvattnets ålder ökar med djupet. Antagligen är dock denna effekt av ganska liten betydelse i den här undersökningen, eftersom de nivå-rör som vanligast använts vid provtagningen är konstruerade så att filtret där vattnet tränger in i röret utgör en kort del av röret. Oftast sitter filtret i botten av röret på en konstant nivå i marken och grundvattennivån är oftast betydligt högre upp än så. I de fall grundvattennivån bara ligger några decimeter över rörbotten, kan det emellertid finnas en sådan effekt. För miljörören där filtret ofta är en eller två meter långt och inte alltid sitter i botten kan nivå-skillnader eventuellt påverka mer. Tanken var att nivå-informationen skulle kunna användas dels i samband med eventuella förklaringar av avvikelser i halter jämfört med tidigare år, där prov tagits på samma plats, och dels för att möjliggöra sådana analyser i samband med framtida undersökningar. Mer om detta kan läsas under rubriken ”Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår”.

Notera att flera grundvattenrör visade grundvattennivåer under referensnivå, mätt i stadens höjdsystem RH00⁴. RH00 systemet är baserat på en referensmät punkt på Riddarholmen. Mälarens referensnivå i RH00 systemet var år 2011 +0,26 m och Saltsjöns var -0,4 m (Stockholms Hamns hemsida, 2012). Lägre grundvattennivå än medelytvattennivån i Mälaren och Saltsjön borde inte uppstå så ofta i vår klimatzon, med större nederbördsmängder än avdunstning. Eftersom grundvattenbildningen är låg i stora delar av staden och grundvatten ofta dräneras på grund av olika undermarksarbeten/konstruktioner, är en flödesriktning från ”ytvattenrecipient” till grundvattnet emellertid inte helt osannolik. I fallet 42f kan det i så fall innebära ett flöde från Saltsjön mot röret, vilket innebär att provet kan ha påverkats av halter i Saltsjön. Eftersom vattenståndet varierar i Mälaren och Saltsjön (och också i övriga ytvatten), kan förklaringen också vara att nivån i Saltsjön vid mättillfället var lägre än referensnivån, och att kaj/strandnära platser, som 42f, samvarierar med respektive ytvatten, som då fortfarande utgör recipient för grundvattenflödet.

Provpunkterna 50 och 51 ligger ungefär på en linje (transsekt) från Brunnsviken in mot land och nivå-mättes samma dag. Denna dag var nivån i röret längre från land (50) knappt 4 cm lägre än vid kajkanten (51). Trafikverket mäter nivåer i ett stort antal rör i området som uppföljning av Norra länken-projektet. Målet är att inte sänka grundvattennivån så mycket att vattenflöde från Brunnsviken uppstår, men de mätserier som Trafikverket låtit ta fram visar att detta ändå förekommer. Så var även fallet vid provtagningstillfället. Åsen

⁴ RH00 ersattes i februari 2013 av det nationella höjdsystemet RH2000. För omräkning till det nya systemet kan följande samband användas: $H_{(RH2000)} = H_{(RH00)} + 0,525$ m. Eftersom grundvattenrören inte är nyligen inmätta med högre precision finns ingen orsak att använda mer komplicerad omräkning.

har god genomsläpplighet, vilket gör att nivån snabbt reagerar på skillnader i vattennivå i Brunnsviken och på pumpning för Norra länkens undermarksbyggnation. I det fallet kan man med ganska stor säkerhet säga att det vid mättillfället fanns ett flöde lokalt i åsen, från Brunnsviken in mot land.

Temperatur

Temperatur mäts för att många kemiska och mikrobiologiska parametrar är temperaturkänsliga. Idealt ska den temperatur som grundvattnet har vid provtagningen hållas tills provet är analyserat. Temperaturen har också betydelse för möjligheten att använda jordvärme/kyla, och resultaten kan ge en överblick över hur temperaturen kan variera geografiskt. Eftersom detta inte mätts i någon av miljöförvaltningens tidigare grundvattenundersökningar finns ingen kunskap om hur variationen i tid ser ut i dessa provpunkter. Generellt kan sägas att temperaturen (Tabell 4) varierar mer i områden med urban påverkan än utan. Kylanläggningar som använder grundvatten för att kyla byggnader, undermarksbyggnation och ledningar med avloppsvatten och fjärrvärme kan läcka värme till grundvattnet och höja temperaturen på grundvattnet. Finns pågående vattenläckage från ledningssystem påverkar det både kemi och temperatur. Finns jordvärmeanläggningar kan de sänka temperaturen, liksom de grundvattenvärmeanläggningar som bl.a. finns i åsen i city.

pH

I Stockholm finns en hel del mänskligt orsakade material i marken, t.ex. betongrester i fyllnadsmassor, som kan ge ökade pH-värden. Utöver mänsklig påverkan präglas Stockholms grundvatten av de geologiska förhållandena med lättvittrade leror och kalkinslag, vilket ger relativt höga pH-värden jämfört med större delen av övriga Sverige. Medianvärdet för pH i grundvatten i Sverige som helhet är 6,6 (SGU, 2013, Bilaga 10), att jämföra med Stockholms medianvärde 7,1 (tabell 4) och regionens 7,4 (grönmarkerat fält i Tabell 4, SGU, 2013, Bilaga 10). Högt pH och kalkinslag ökar markens buffringsförmåga mot försurning och minskar risken för att metaller ska vara rörliga i marken, vilket är en fördel för vattenlevande organismer i ytvattenrecipienter. Att pH ändå är något lägre i Stockholms grundvatten än i regionens kan eventuellt förklaras av en lokalt hög belastning av försurande kväve- och svavelföreningar, åtminstone historiskt.

Konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga)

Konduktiviteten är också hög (Tabell 4) i förhållande till grundvatten i jordlager i Sverige som helhet (SGU, 2013, bilaga 10) vilket är naturligt under den marina gränsen där salt från tidigare havsmiljö fortfarande påverkar. Konduktiviteten är också högre i Stockholmsproven än i regionen (median 62,7 mS/m i Stockholm jämfört med 54 för regionen, grönmarkerat i Tabell 4). Hög konduktivitet kan också orsakas av låg grundvattenomsättning, vilket kan uppstå där grundvattenbildningen är låg. I Stockholm är en stor del av marken bebyggd och hårdgjord. Regn- och smältvatten leds bort via dagvattensystem och snöröjningen innebär att mycket vatten som kunde ha bildat grundvatten transporteras bort, vilket minskar grundvattenbildningen.

Syrehalt

Syrehalt mättes endast vid vårens provtagning (Tabell 4). Viss osäkerhet finns kring kvaliteten på resultaten, då det kan vara svårt att få korrekta resultat. Den peristaltiska pumpen

och dålig tillströmning för många rör innebar att vattnet utsattes för undertryck vilket eventuellt också kan påverka resultatet. Låg redoxpotential och syrefattiga utströmmande grundvatten kan innebära problem för bottenlevande syreberoende organismer i ytvattenrecipienterna och att fosfors löslighet ökar. Denitrifikationen gynnas emellertid och låg syrehalt kan också vara gynnsamt för nedbrytning av vissa organiska miljögifter, varför röd- och orangemarkerade prov inte nödvändigtvis innebär problem.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Där prov togs både i november till januari 2011/2012 och i maj till juni 2012 låg grundvatten-nivån 20-30 cm högre på våren (Tabell 4). Som beskrivits i metodkapitlet var det många rör som var torra när prov skulle tas 2011/2012, vilket gjorde att alternativa platser fick väljas. Det tyder på att nivån då var lägre än när rören sattes och också sannolikt lägre än normalt, eftersom bara nivå-rör som använts vid tidigare provtagningar eller som används i stadens nivå-mättningsprogram varit aktuella för provtagning.

Grundvattentemperaturen har i samtliga fall varit högre i maj jämfört med i november-januari, vilket också var förväntat.

Inga generella skillnader mellan vinter- och vårprov kan ses vad gäller pH (Tabell 4); I nio fall är pH högre i vinterprovet jämfört med vårprovet och i fyra fall är det tvärt om, av de tretton provpunkterna med provtagning både vinter och vår.

I samtliga fall där konduktivitet mätts både i vinter- och i vårprov är konduktiviteten högre i vårprovet (Tabell 4). Utöver att proven tagna på vårkanten kan ha haft längre kontakttid med jorden kan det vara användningen av salt som halkbekämpningsmedel som gett högre konduktivitet. I fyra fall var också kloridhalten (Tabell 6) något högre på våren, men i fyra fall var den lägre eller densamma, så saltning med kloridsalt mellan tidpunkterna kan inte ensam förklara skillnaden i konduktivitet.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Ingen jämförelse är möjlig eftersom utrustning saknades för att mäta vattentemperatur, pH, konduktivitet och syrehalt i vattendragen vid provtagningstillfället.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

En parameter som mäts i Stockholms ytvatten är pH. Stockholms sjöar har pH-värden mellan 7,3 (Räcksta Träsk) och 8,6 (Trekanten och Lillsjön) (treårsmedelvärdet från Miljöbarometern). Dessa pH är generellt högre än de pH som uppmätts i Stockholms grundvatten (medel och median 7,1), även om pH över 7,3 också är vanligt.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Medeltemperaturen på inkommande avloppsvatten till reningsverken i Stockholm var för 2012 14,3°C, med en lägsta uppmätt temperatur på 7,2°C och en maxtemperatur på 18,9°C (Stockholm Vatten, muntlig kommunikation). Eftersom det vattnet runnit i ledningssystemet och värmen sannolikt i stor utsträckning nått jämvikt med omgivande mark säger det mer om medeltemperaturen i marken än om temperaturen på läckande avloppsvatten. Läckage från avloppssystemet till grundvatten skulle sannolikt lokalt höja temperaturen på grundvattnet, åtminstone vintertid.

Grundvatten i Stockholm

Resultat

Stockholm vatten mäter inte pH på inkommande avloppsvatten men bedömer att det rör sig om ca 8,5, som är det pH kranvattnet i Stockholm har när det går ut i ledningsnätet (Stockholm vatten, personlig kommunikation). Grundvattnets pH är i samtliga provtagningspunkter lägre, utom i ett undantagsfall, 37b, vilket innebär att ett läckage av avloppsvatten skulle kunna ge högre pH till grundvattnet lokalt.

Data över konduktivitet och syrehalt i inkommande avloppsvatten har inte rapporterats i någon av referenserna som angetts i kapitel 3.5; eventuellt är det parametrar som inte mäts.

Även läckage från dagvattensystem kan tänkas påverka grundvattnets temperatur, pH och konduktivitet. Inga data på typisk temperatur och pH på dagvatten i Stockholm har hittats. Vägsaltning kan innebära förhöjd konduktivitet, medan långvariga kraftiga regn kan ge lägre konduktivitet i dagvatten. Inga specifika data för Stockholms dagvatten har varit tillgängliga men Larm (2012) presenterar ca 8-26 mS/m för motsvarande urbana miljöer som finns i Stockholm, vilket generellt är lägre än för Stockholms grundvatten, där medianen är 63mS/m.

Tabell 4. Parametrar mätta i fält. na="not analysed", analys saknas. För pH och syre-halt ger högre värden lägre klass enligt bedömningsgrunder (SGU 2013).

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	Grundvattennivå vid provtagningstillfället (RH00) (m)	Skillnad i grundvattennivå jämfört med provtagning -03 (eller tidigare) (m)	Vattentemperatur (°C)	pH	Konduktivitet (µS/cm)	O ₂ (mg/l)
1	(32)Granholmen	2011-11-26	8,83	-0,27	6,5	6,9	585	na
1a	Kista-åsinslag	2011-11-25	27,89		7	8	455	na
1c	Akalla	2012-06-07	20,62		12,3	4,66	288	3,7
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	4,33	0,1	na	7,9	466	na
4	(30)Johannelundstoppen	2011-11-26	18,55	0,24	7	7,3	533	na
4	(30)Johannelundstoppen	2012-05-05	18,88	0,57	9,6	7,13	890	4,41
5b	Kyrksjön	2011-11-26	11,52		6	7,6	427	na
5b	Kyrksjön	2012-05-06	11,63		13,6	7,94	600	7
5c	Judarn	2011-12-20	9,89		7,1	6,22	353	na
6	(55)Beckomberga	2011-11-26	11,53	0,38	6	7	692	na
6	(55)Beckomberga	2012-05-06	11,79	0,64	11,2	7,17	794	5,7
7c	Bällstaviken	2012-05-06	0,704		10,7	7,43	909	2,6
8b	Bällstaån	2011-12-20	2,35		na	6,97	na	na
9	(10 C)Ulvunda	2011-11-28	5,43	-0,35	6	7,6	530	na
9	(10 C)Ulvunda	2012-05-06	5,65	-0,13	15	7,37	865	3,25
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	1,03	-1,89	6	7,4	434	na
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	1,32	-1,6	10,6	7,13	679	2,6
10c	Äppelviken	2012-01-11	16,38		7,8	7,18	398	na
10d	Stora mossens koloni omr	2012-05-06	20,71		na	7,37	630	4,8
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	12,05	0	7	7,2	656	na
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	rörövertant-5,27	-0,49	6	7,6	440	na
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	1,663		7,4	6,79	542	1,05
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	6		7,2	6,82	699	8,4
14a	Lövstatippen	2011-12-20	rörövertant-5,84		2,9	6,1	283	na
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	rörövertant-2,09		7,5	7,1	225	na
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	10,15		9,1	7,27	635	5,43
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-15	3,95		na	7,1	554	na
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	3,96		12,7	6,7	564	1,7
15c	Kungsholmen N	2011-12-15	0,75		na	7,1	880	na
16	(2)Liljeholmen/Trek	2011-12-09	2,51	0,74	na	7,87	844	na
17	(39)Vinterviken	2011-12-09	1,14	-0,34	na	7,42	363	na
18	Bredäng	2011-12-16	30,43		8,6	6,9	685	na
19c	Hägersten	2011-12-21	32,83		na	6,5	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2011-12-21	21,69		7,5	6,8	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	21,61		9,2	7,3	634	2,1
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	19,22	-0,06	7,5	7,63	613	na
21	(57)Stureby	2011-12-12	22,49	0,03	5,8	6,84	649	na
21	(57)Stureby	2012-05-07	22,89	0,38	8	6,86	1340	3,8
22	Enskedefältet	2011-12-12	15,53		na	7,92	768	na
23	Sätrabadet	2012-05-07	0,809		5,8	6,8	624	3,8
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23			na	na	na	na
24	Långsjön	2012-05-07	30,685		7,7	6,9	380	7,8
26c	Högdalstoppen	2011-12-21	37,51		na	5,7	na	na
27	(23)Gubbängen	2011-11-25	31,78	-0,17	6	7,1	235	na
27	(23)Gubbängen	2012-05-04	32,6	1,44	11	6,7	624	8,6
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14			6,4	6,75	240	na
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	25,01		7,3	7,57	341	na
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	24,95		7,6	7,5	632	6,3
29	Talkrogen/Olympiav	2011-11-25	29,82		6	7,4	217	na
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12			8,6	7,57	651	na
31	(50)Skrubba	2011-12-12	33,91	0,62	na	8,08	196	na
32	(53)Enskede/Kärretorp - Ältasjön	2011-12-14	28,74	-1,16	7,6	7,16	424	na

Tabell 4. Parametrar mätta i fält. na="not analysed", analys saknas. För pH och syre-halt ger högre värden lägre klass enligt bedömningsgrunder (SGU 2013).

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	Grundvattennivå vid provtagningstillfället (RH00) (m)	Skillnad i grundvattennivå jämfört med provtagning -03 (eller tidigare) (m)	Vattentemperatur (°C)	pH	Konduktivitet (µS/cm)	O ₂ (mg/l)
32b	Björkhagen	2012-06-07	27,89		9,7	7,31	736	1,35
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	21,06	-0,51	na	7,16	554	na
33b	Johanneshov	2011-12-21	17,32		na	6,7	na	na
33c	Gla Enskede/Dagöv	2011-12-22	16,65		3	6,55	na	na
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	21,23		8,3	7,35	1430	7,45
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	23,92		12,6	6,86	1001	2,23
37b	Sköndal/Spettekakev	2012-01-11	20,71		8,2	10	470	na
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	22,868		7,1	7,5	595	11,1
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23			na	na	na	na
39b	Fagersjövikén	2012-01-11	34,8		7,7	6,96	355	na
39b	Fagersjövikén	2012-05-04	34,76		10,3	6,9	470	7,5
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	10,59		16,8	6,94	2175	1,83
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	7,18		12,3	6,86	850	4,4
41b	Lilla Bleckan	2011-12-06	8,85		9	7,4	643	na
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	2,52		7,2	6,99	299	na
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	-0,17		na	6,4	1005	na
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03	0,39		4,7	7,4	250	7,9
42f	Franska bukten	2012-05-03	-0,61		8,8	7,08	544	0,34
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	0,14		9,2	6,8	1023	0,6
43	K-trädg	2011-12-05	-0,3		10,5	6,6	118	na
44	(16A)Åsen Norrmalm	2011-12-05	-0,07		14	6,01	685	na
44b	Östermalm	2012-06-09	11,79		13,6	7,3	1252	1,28
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	0,07		15,3	6,48	1288	1,8
45	(19)Engelbrektsplan	2011-12-05	0,82	-0,14	na	7,18	838	na
45	(19)Engelbrektsplan	2012-05-03	0,83	-0,13	13,6	6,92	1215	0,84
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2011-12-15	16,77		na	7,4	712	na
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2012-05-03	17,97		12	7,11	754	1,2
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	7,14		12,1	6,59	1331	2,63
46b	N Djurgården	2011-12-05	2,98		8	6,7	840	na
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	10,9		14,6	6,95	749	2,67
47a	(9A)Värtahamnen	2011-12-05	rörtopp-3,05	-0,03	4	7,2	970	na
48b	(8B)Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	0,06	-0,4	6,5	6,9	582	na
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	-0,34		11,5	8,3	555	2,69
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	-0,305		8,7	7,4	717	0,9
53a	Skansen 401	2011-12-21	17,66		7,3	6,6	na	na
53b	Skansen 402	2011-12-21	15,96		6,2	7,01	na	na
53c	Skansen 403	2011-12-21	15,02		6,5	6,5	na	na
Tillståndsklass 5 enligt SGU (2013) Mycket lågt pH/mycket hög konduktivitet/mycket låg syrehalt						5,5	1500	2,5
Tillståndsklass 4 enligt SGU (2013) Lågt pH/hög konduktivitet/låg syrehalt						6,5	750	5
Tillståndsklass 3 enligt SGU (2013) Måttligt pH/relativt hög konduktivitet/måttlig syrehalt						7,5	500	7,5
Min				-1,89	2,9	4,66	118	0,34
Max				1,44	16,8	10	2175	11,1
Medel				-0,10	9	7,1	660	3,94
Median				-0,10	8	7,1	627	2,97
Median region F för jordgrundvatten (SGU 2013)						7,4	540	

4.2 Alkalinitet, salter, närsalter, organiskt kol och bakterier

Mätresultat över alkalinitet, salter, närsalter, organiskt kol och bakterier presenteras i Tabell 6.

Alkalinitet

Alkaliniteten i Stockholms grundvatten är generellt mycket hög (310 mg/l jämfört med 260 för regionen, Tabell 6), vilket beror på de geologiska förhållandena med kalkinslag och lättvittrande leror men också på att fyllnadsmassor ofta innehåller betong och cement. Detta bekräftas också genom höga halter baskatjoner (Tabell 8). Lång omsättningstid, vilket kan indikeras av låga grundvattennivåer, ger också högre alkalinitet. Hög alkalinitet och höga halter baskatjoner innebär att marken har hög buffringsförmåga mot försurning och bidrar till att försurning inte är ett problem i Stockholms ytvatten.

Klorid

Grundvattnet i Stockholm har hög salthalt, vilket syns som hög konduktivitet (Tabell 4) och hög halt klorid och sulfat (Tabell 6). Halterna klorid är generellt betydligt högre än i regionen (medianhalt 77 mg/l jämfört med 13 för regionen, grönmarkerat i Tabell 6). Kloriden kommer sannolikt framförallt från saltning för halkbekämpning, vilket är vanligt i Stockholm.

Klorid i grundvatten kan också komma från inträngande saltvatten. Detta är vanligt i kustkommuner med grundvattentäcker som konsumerar mer grundvatten än vad som nybildas, vilket skapar ett vattenflöde från omgivande hav mot vattentäkten, ofta på stort djup. Saltsjön har en salthalt om 1-5 promille, vilket motsvarar en kloridhalt om 550-2750 mg/l. Det innebär att inträngande saltsjövatten skulle bidra till högre kloridhalter. Vid samtliga provtagningspunkter intill Saltsjön utom 42f har emellertid grundvattennivån legat över medelvattenståndet i Saltsjön, vilket minskar risken för ett flöde från ytvatten mot land.

Salt grundvatten förekommer också naturligt under den marina gränsen. Den marina gränsen (högsta kustlinjen) är den högsta kustnivå till vilken hav täckt land sedan den senaste istiden och sådant vatten kallas relict salt vatten. Det grundvatten som provtagits i undersökningen har varit relativt ytligt vilket gör det mindre sannolikt att höga salthalter beror på relict salt vatten eller saltvatteninträngning.

Sulfat

Sulfathalterna är liksom kloridhalterna förhöjda (medianhalt 60 mg/l jämfört med 24 för regionen, grönmarkerat i Tabell 6). Sulfat kan ha sitt ursprung i jordlagren, bl.a. från oxidation av sulfidhaltiga leror och gyttjor, och i en hög svaveldeposition. Hög halt sulfat kan öka tungmetalltransporten, om positiva metalljoner transporteras tillsammans med negativt laddade sulfatjoner. Hög alkalinitet, baskatjonhalt och relativt höga pH-värden gör att tungmetaller generellt blir mindre rörliga i marken, vilket gör att tungmetalltransport inte bör vara något generellt problem för Stockholms ytvattenrecipienter, men sådana problem kan finnas lokalt.

Vid syrefria förhållanden (tillståndsklass 5 för syrehalt) kan istället sulfat ombildas till svavelväte (H_2S), vilket kan ge en lukt av ruttet ägg. Den typen av lukt kändes på flera

Grundvatten i Stockholm

Resultat

platser vid provtagningen. Sulfathalten är också låg i alla provpunkter där låga syrehalter uppmätts (15b, 42f, 42g och 44c), vilket tyder på en sådan miljö.

Svaveldepositionen i Stockholm har minskat kraftigt de senaste decennierna. Eneroth (2012) har beräknat svaveldepositionen till 2-7 kg svavel per hektar och år för 2010, med mindre än 3 kg över större delen av kommunen. Kring Bromma flygplats och Solnaverket finns det största lokala nedfallet medan 3-4 kg per hektar och år beräknas falla över småhusområden där olja fortfarande används för uppvärmning.

Nitrat-, nitritkväve och totalkväve

Nitrat- och nitritkvävehalterna är generellt låga i förhållande till bedömningsgrunderna (Tabell 6), men det finns också provpunkter som visar extremt höga halter. Medianhalten för nitratkväve är låg (180 µg/l) jämfört med medianhalten för regionen (610 µg/l), (Tabell 6). För nitritkväve är medianhalterna i Stockholms grundvatten (7 µg/l) högre än för regionen (<0,3 µg/l)(grönmarkerat i Tabell 6). Enligt SGU (2013) indikerar nitratkvävehalter över 450 µg/l mänsklig påverkan. Tjugoåtta av 81 prov har halter över 450 µg/l (Tabell 6). För totalkväve saknas bedömningsgrunder och data för regionen i SGU (2013). En viktig kvävekälla utöver avloppsvatten kan vara atmosfärisk deposition. Kvävedepositionen har i Stockholm i många decennier varit hög och är fortfarande så i de centrala delarna av staden. För år 2010 beräknades depositionen till 5-30 kg kväve per hektar och år, med mer än 15 kg kväve per hektar och år längs de större trafiklederna (Eneroth, 2012).

Ammoniumkväve

Ammoniumkvävehalterna är mycket varierande och generellt förhöjda jämfört med halterna i regionen som helhet (medianhalt 110 µg/l jämfört med 16 µg/l för regionen, grönmarkerat i Tabell 6). Åtminstone i vissa provpunkter kan höga halter tyda på läckage från avlopp. Det gäller framförallt provpunkten 9 som också har hög fosfatfosforhalt och där bakterier kunde påvisas, sannolikt även 42d, 42f och 42g, och eventuellt också 15b, 15c, 16 och 47a.

Fosfatfosfor

Fosfatfosforhalterna i Stockholm varierar mycket och medianhalten är högre (17 µg/l, Tabell 6) än för regionen i stort (6,5 µg/l, grönmarkerat i Tabell 6). Fosfat är ett ämne som binds hårt till lerpartiklar och som kalciumfosfat i mark, särskilt vid höga pH och baskatjonhalter, och därför inte borde vara så rörligt. Vid syrefattiga förhållanden blir fosfor mer rörligt, men inget tydligt omvänt samband mellan syre och fosfathalt kan ses här. Totalfosforhalten som Eurofins angett för provpunkten 43 måste vara fel eftersom högre halt uppmätts både vad gäller fosfatfosfor och i filtrerat prov.

Organiskt kol

Innehållet av organiskt kol i form av TOC visar endast liten variation mellan proven (Tabell 6).

Bakterier

Utöver vad som visas i Tabell 6 har två prov (9 och 10, provtagna den 28 november 2011) analyserats på långsamväxande bakterier och odlingsbara mikroorganismer (se Tabell 3). Ulvsundaprovet (9) visade 2000 respektive 1200 antal/ml och Riksbyprovet

(10) 3700 respektive 1600 antal/ml. Eftersom dessa parametrar inte analyserats på andra prov är det svårt att dra några slutsatser om det generella tillståndet, men bägge dessa prov överskrider Socialstyrelsens riktvärden för enskild dricksvattenförsörjning med bedömningen ”tjänligt med anmärkning” avseende odlingsbara mikroorganismer (1000/ml, SOS 2005:20). Ingen av proverna är tagna där enskild dricksvattenförsörjning är aktuell.

Bakteriehalterna (av de typer som analyserats och visas i Tabell 6) visar låga halter, under rapporteringsgräns. Rapporteringsgränsen motsvarar i det här fallet gränsen mellan tjänligt och otjänligt om grundvattnet skulle ha använts som dricksvatten. Provpunkten 44 är den enda som visar E.coli i mycket höga halter, men också provpunkterna 9 (även i novemberprovet om de bakterieparametrar som mätts där samverkar med E.coli) och 42d påvisar halter som indikerar fekal förorening och skulle ha lett till att vattnet var otjänligt som dricksvatten enligt Livsmedelsverkets klassificering (LIVSFS 2011:3).

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Nio provpunkter provtogs både vinter och vår för parametrarna i Tabell 6. Generellt är det inte några större skillnader mellan de olika tidpunkternas mätresultat. Nitrat och ammoniumhalterna skiljer sig avsevärt i några fall och kan delvis bero på kemiska reaktioner där kväve kan variera mellan nitrat- och ammoniumform, men en slutsats är ändå att för dessa ämnen kan provresultat från både vinter och vår hanteras lika.

Jämförelse med Flatendiket och Sätraån

Jämför man vattnet i dagvattendiket vid Flaten (37d) med grundvattnet i röret uppströms diket (37c), är kloridhalten tio gånger högre och sulfat- och fosforhalten (filtrerat prov) fyra gånger högre i diket. I övrigt är skillnaderna mindre än så. I röret (23) alldeles intill Sätraån (23b) är istället halten fosfor och ammoniumkväve minst tio gånger högre i grundvattnet än i vattendraget. När proven filtrerats är tvärt om fosforhalten högre i vattendraget än i grundvattnet. Halterna av de flesta av ämnena i Tabell 6 är generellt dubbelt så höga i Flatens vattendrag jämfört med Sätraån. Skillnaderna mellan vattendragen beror antagligen på att det är mer påverkan av trafikdagvatten i Flaten.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Halterna i grundvatten har större spridning än Stockholms sjöar och vattendrag. Fosforhalterna varierar mellan 7 och 6800 µg/l i grundvattnet med en medianhalt om 135 µg/l, vilket motsvarar extremt hög halt i sjöar och vattendrag, enligt gamla bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket rapport 4913, 1999). Syrehalten är låg i det provtagna grundvattnet vilket kan vara ett skäl till att fosfor är löst och kan transporteras med grundvattenflödet. När grundvattnet strömmar ut i ytvatten faller fosfor ut om syrehalten är högre i ytvatten. Grundvattnets kvävehalter varierar mellan 0,1 och 140 mg/l, med en medianhalt om 1 mg/l, vilket motsvarar en hög halt enligt naturvårdsverkets gamla bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket rapport 4913, 1999). Halterna av dessa gödande ämnen är generellt högre i Stockholms grundvatten än i Stockholms sjöar och vattendrag. Det innebär att grundvatten kan vara en källa för dessa ämnen till ytvatten.

När det gäller bakterier kan det vara intressant att jämföra med de krav som ställs på badvattenkvalitet enligt de regler som gäller där (HVMFS 2012:14), om grundvattnet skulle påverka badvattenkvaliteten negativt, även om det är ganska få badplatsnära provpunkter

Grundvatten i Stockholm

Resultat

som har analyserats. Under 200 intestinala enterokocker per 100 ml och/eller 500 E.coli per 100 ml innebär utmärkt kvalitet i badvatten. Inget grundvattenprov överskrider de halterna, vilket gör det osannolikt att de bakterieproblem som finns på vissa badplatser beror på transport via grundvatten, åtminstone om grundvattenproven är representativa för grundvattenflödet till badvattnen.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Höga salthalter kan utöver ovan beskrivna källor också orsakas av läckage från avlopp. Detta bör då också synas som förhöjda halter av ammoniumkväve, eventuellt fosfatfosfor och nitratkväve och bakterier. Halter av några ämnen i orenat inkommande avloppsvatten till Henriksdals och Bromma reningsverk presenteras i Tabell 5. Inkommande avloppsvatten är en blandning av spill-, dag- och dränvatten. Enligt muntlig kommunikation med Stefan Remberger på Stockholm Vatten har avloppsvattenprov inte filtrerats före analys.

Tabell 5. Jämförelse mellan halter i Stockholms grundvatten (från Tabell 6) och i avloppsvatten till Henriksdals (HR) och Bromma reningsverk (BR) enligt Stockholm Vatten (2013, sid 12 och 14) utom för klorid där data kommer från Pettersson och Wahlberg (2010) som har mätt klorid i tidsproportionella 7-dygnsprov tagna i oktober 2007 och/april 2008. Dagvattenhalter är schablonhalter (min och max) som används i modellen StormTac (Larm 2012), för urban miljö med motsvarande markanvändning som förekommer inom kommunen.

Ämne (ofiltrerat prov)	Avlopps- vatten		Dag- vatten	Grund- vatten	Kommentar
	BR	HR	Min- max	Median (max)	
Klorid (mg/l)	53/54	75/66	13-50	77 (600)	Generellt högre halt i grundvatten än i avlopps- och dagvatten. Det är oklart om detta avlopps- och dagvatten har inslag av klorid från halkbekämpningsmedel eller ej.
Ammonium- kväve (mg/l)	17	27	Inga data	0,11 (21)	Generellt lägre halt i grundvatten än i avloppsvatten men ett prov har motsvarande halt.
Total-kväve (mg/l)	25	41	0,6-9	1 (140)	Generellt lägre halt i grundvatten än i avloppsvatten men tre prov har motsvarande eller högre halt än avloppsvattnet och halterna i grundvatten är jämförbara med de i dagvatten.
Total-fosfor (mg/l)	2,6	5,1	0,1- 0,7	0,135 (6,8)	Generellt lägre halt i grundvatten än i avloppsvatten men fyra prov har motsvarande eller högre halt och halterna är jämförbara med de i dagvatten.
Organiskt kol (TOC) (mg/l)	77	130	5-47	5,2 (34)	Lägre halt i alla grundvattenprov än i avloppsvatten, medan halterna är jämförbara med de i dagvatten.

Grundvatten i Stockholm

Resultat

Halter i grundvatten är generellt lägre än i inkommande avloppsvatten till reningsverken vad gäller ammoniumkväve, totalkväve, totalfosfor och TOC. I enstaka provpunkter förekommer högre halt i grundvattnet. Ett läckage i avloppsnätet kan ske på en plats där avloppsvattnet endast består av spillvatten, utan inslag av dagvatten. Ett sådant avloppsläckage innebär sannolikt högre halter än de som framgår av Tabell 5. Att högre halter orsakats av läckage från avloppsnätet är därför ändå troligt. Vad gäller klorid är till och med medianhalten i grundvattnet högre än de kloridhalter som uppmätts i Stockholms avloppsvatten enligt Pettersson och Wahlberg (2010). En möjlig förklaring kan ändå vara årtiondens användning av klorid i halkbekämpningsmedel, om provtagningen av avloppsvatten inte skett när det funnits sådan påverkan.

Dagvatten innehåller också dessa ämnen. Halterna i grundvatten har jämförts med schablonhalter som används i modellen StormTac (Larm 2012) för urban miljö med motsvarande markanvändning som förekommer inom kommunen. Dessa dagvattendata är inte endast från Stockholm, men kan ändå ge en indikation. För de ämnen som tas upp i Tabell 5 är halterna klart jämförbara i dag- och grundvatten. Även i detta fall syns kloridhalterna högre i grundvattnet och även här kan det vara så att prover inte tagits när vägsaltin-slaget varit stort.

Tabell 5. Alkalinitet, klorid, sulfat, kväve, fosfor, organiskt kol och bakterier. Blå siffror filtrerade prov och gröna siffror prov som frysts före analys. na="not analysed", analys saknas. E.coli och Int.ent. svagt gulmarkerade om >1

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagnings-datum	Alkalinitet HCO ₃	Klorid	Klorid, filtrerat	Sulfat	Nitrat-kväve (NO ₃ -N)	Nitrat-kväve filtrerat	Nitrit-kväve (NO ₂ -N)	Nitrit-kväve filtrerat	Ammonium-kväve (NH ₄ -N)	Ammonium-kväve filtrerat	Kväve	Fosfat-fosfor (PO ₄ -P)	Fosfat-fosfor filtrerat	Fosfor	Fosfor filtrerat (labb:ALS)	Organiskt kol (TOC)	Escherichia coli	Intestinala enterokocker
			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(mg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(mg/l)	(antal/100 ml)	(antal/100 ml)
1	(32)Gränholmen	2011-11-26	650	32	na	95	<1,0	na	<1,0	na	88	na	0,31	<5	na	16	1,3	7,6	na	na
1a	Kista-åsinslag	2011-11-25	220	77	na	120	1,2	na	1,1	na	48	na	0,16	7	na	13	1,39	4,8	na	na
1c	Akalla	2012-06-07	380	90	na	95	<1,0	na	3	na	130	na	0,27	11	na	460	<1	34	na	na
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	300	66	na	68	<1,0	na	6,7	na	390	na	0,47	17	na	74	8,24	4,3	na	na
4	(30)Johannelundstoppen	2011-11-26	380	80	na	84	1200	na	24	na	3,6	na	1,1	5	na	53	5,54	4,3	na	na
4	(30)Johannelundstoppen	2012-05-05	410	89	na	84	950	na	27	na	5	na	1,1	12	na	28	5,89	3,5	na	na
5b	Kyrksjön	2011-11-26	310	27	na	110	27	na	1,8	na	370	na	1	9	na	210	3,92	3,6	na	na
5c	Judarn	2011-12-20	230	48	na	56	1700	na	2,6	na	9,5	na	1,9	49	na	68	59,2	5,3	na	na
6	(55)Beckomberga	2011-11-26	600	44	na	180	9600	na	87	na	17	na	13	9	na	170	7,41	9,7	na	na
6	(55)Beckomberga	2012-05-06	400	36	na	100	1,8	na	4,9	na	39	na	0,25	<5	na	31	2,98	4,2	<1	6
7c	Bällstaviken	2012-05-06	320	180	na	57	98	na	2,3	na	150	na	0,33	<5	na	450	1,46	5,1	<1	1
8b	Bällstaån	2011-12-20	310	26	na	80	4700	na	2,7	na	3,4	na	5,7	6	na	29	3,6	5,2	na	na
9	(10 C)Ulvsunda	2011-11-28	340	92	na	7,1	2,4	na	4,5	na	1800	na	2,3	710	na	820	836	9,5	na	na
9	(10 C)Ulvsunda	2012-05-06	370	150	na	6,7	68	na	1,6	na	1000	na	3,5	1000	na	1300	1260	14	3	4
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	350	47	na	62	<100	na	<2	na	130	na	0,35	44	na	420	47,5	4,1	na	na
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	340	45	na	63	71	na	6,6	na	120	na	0,32	60	na	110	4,79	4	na	na
10c	Äppelviken	2012-01-11	360	37	na	61	<1,0	na	<1,0	na	43	na	0,18	5	na	10	<1	4,4	na	na
10d	Stora mossens koloni omr	2012-05-06	260	120	na	37	79	na	2,1	na	490	na	0,8	<5	na	210	3,5	8,5	na	na
11	(52)Råcksta träsk	2011-12-15	380	24	na	77	24	na	30	na	130	na	0,4	6	na	560	<1	5	na	na
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	280	57	na	140	180	na	3	na	33	na	0,37	11	na	44	6,37	4,6	na	na
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	260	35	na	85	220	na	18	na	41	na	0,81	7	na	2400	4,66	4,8	<1	1
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	230	120	na	34	620	na	19	na	34	na	1,1	19	na	76	9,45	11	<1	<1
14a	Lövstatippen	2011-12-20	130	11	na	32	58	na	9,1	na	13	na	0,59	8	na	57	5,46	17	na	na
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	370	35	na	37	16	na	8,9	na	21	na	0,11	6	na	85	1,81	3,2	na	na
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	370	65	na	150	3200	na	60	na	4,6	na	4,8	<5	na	33	1,86	5,2	<1	<1
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-15	260	36	na	6,3	2	na	4,2	na	600	na	0,8	1100	na	1300	962	5,2	<1	<1
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	280	58	na	9,3	3,1	na	7,9	na	730	na	0,99	1200	na	1300	1240	5,1	na	na
15c	Kungsholmen N	2011-12-15	590	63	na	<1,0	2,7	na	5,1	na	5700	na	6,7	16	na	1300	9,72	9,3	na	na
16	(2)Liljeholmen/Trek	2011-12-09	340	310	na	54	<100	na	<2	na	890	na	1	18	na	140	3,46	5,6	na	na
17	(39)Vinterviken	2011-12-09	220	58	na	84	<100	na	<2	na	40	na	0,14	<5	na	170	<1	4,5	na	na
18	Bredäng	2011-12-16	250	98	na	110	5,8	na	36	na	390	na	0,46	<5	na	270	<1	5	<1	<1
19c	Hägersten	2011-12-21	130	17	na	52	2900	na	11	na	390	na	3,7	75	na	190	28,9	9,2	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2011-12-21	150	76	na	49	2100	na	12	na	7,6	na	3	10	na	610	7,77	8,3	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	200	91	na	80	530	na	48	na	22	na	0,7	14	na	59	9,47	3	<1	<1
20	(73)Ålvsjömassan	2011-12-12	450	85	na	110	<1,0	na	6,2	na	1500	na	1,5	41	na	980	27,5	7,9	<1	<1
21	(57)Stureby	2011-12-12	460	160	na	100	36	na	6,7	na	990	na	1,3	14	na	88	4,71	6,7	na	na
21	(57)Stureby	2012-05-07	330	250	na	120	800	na	15	na	33	na	0,97	<5	na	27	<1	3,6	<1	<1
22	Enskedefältet	2011-12-12	510	230	na	60	<1,0	na	1,1	na	1600	na	1,8	52	na	180	35,8	7	na	na
23	Sätrabadet	2012-05-07	250	54	na	81	82	na	1,4	na	33	na	0,16	6	na	220	<1	4,6	<1	<1
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23	190	32	na	50	150	na	3	na	<3,0	na	0,45	<5	na	17	10,4	7	na	na
24	Längsjön	2012-05-07	170	11	na	63	3200	na	37	na	61	na	3,4	<5	na	78	3,85	11	<1	<1
26c	Högdalstoppen	2011-12-21	16	6,6	na	24	260	na	3	na	5,5	na	0,31	9	na	48	1,08	3,6	na	na
27	(23)Gubbängen	2011-11-25	120	47	na	21	<1,0	na	1,4	na	6,7	na	0,092	<5	na	7,3	<1	2,7	na	na

Tabell 5. Alkalinitet, klorid, sulfat, kväve, fosfor, organiskt kol och bakterier. Blå siffror filtrerade prov och gröna siffror prov som frysts före analys. na="not analysed", analys saknas. E.coli och Int.ent. svagt gulmarkerade om >1

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagnings-datum	Alkalinitet HCO ₃ (mg/l)	Klorid (mg/l)	Klorid, filtrerat (mg/l)	Sulfat (mg/l)	Nitrat-kväve (NO ₃ -N) (µg/l)	Nitrat-kväve filtrerat (µg/l)	Nitrit-kväve (NO ₂ -N) (µg/l)	Nitrit-kväve filtrerat (µg/l)	Ammonium-kväve (NH ₄ -N) (µg/l)	Ammonium-kväve filtrerat (µg/l)	Kväve (mg/l)	Fosfat-fosfor (PO ₄ -P) (µg/l)	Fosfat-fosfor filtrerat (µg/l)	Fosfor (µg/l)	Fosfor filtrerat (labb:ALS) (µg/l)	Organiskt kol (TOC) (mg/l)	Escherichia coli (antal/100 ml)	Intestinala enterokocker (antal/100 ml)
27	(23)Gubbängen	2012-05-04	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	< 1	< 1
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	160	17	na	47	85	na	5,9	na	93	na	0,83	350	na	490	180	10	na	na
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	260	82	na	44	<1,0	na	<1,0	na	140	na	0,31	13	na	18	<1	13	na	na
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	< 1	< 1
29	Tallkrogen/Olympiav	2011-11-25	200	180	na	77	5100	na	4400	na	18	na	4,9	12	na	24	4,45	4	na	na
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	670	47	na	42	10	na	1,8	na	370	na	0,6	11	na	190	1,63	8,1	< 1	26
31	(50)Skrubba	2011-12-12	100	26	na	30	60	na	<1,0	na	91	na	0,41	50	na	6600	47,1	3,2	< 1	< 1
32	(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	420	20	na	36	<1,0	na	<1,0	na	210	na	0,37	27	na	58	2,12	5,5	< 1	< 1
32b	Björkhagen	2012-06-07	330	71	na	85	51	na	1,1	na	400	na	0,76	31	na	240	14,8	6,4	na	na
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	400	65	na	72	10000	na	5,1	na	8,7	na	12	23	na	63	10,8	4,9	< 1	1
33b	Johanneshov	2011-12-21	140	110	na	22	84	na	1,6	na	49	na	0,43	5	na	56	9,5	6,3	na	na
33c	Gla Enskede/Dagöv	2011-12-22	190	270	na	26	2,5	na	1,1	na	170	na	0,29	16	na	31	5,24	5	na	na
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	500	220	na	140	2,1	na	1,8	na	140	na	0,67	<5	na	37	2	12	< 1	< 1
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	530	98	na	60	470	na	47	na	630	na	1,3	130	na	160	107	4,9	na	na
37b	Sköndal/Spettekakev	2012-01-11	140	89	na	2	<1,0	na	12	na	7000	na	7,4	21	na	150	23,5	5,3	na	na
37c	Flaten/Ekens kolonimråde	2012-05-04	390	8,9	na	35	230	na	12	na	22	na	0,43	5	na	83	1,77	5,2	< 1	< 1
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	220	88	na	140	230	na	11	na	38	na	0,66	<5	na	32	8,61	7	na	na
39b	Fagersjövik	2012-01-11	260	11	na	56	<1,0	na	3,1	na	63	na	0,21	10	na	20	<1	4,9	na	na
39b	Fagersjövik	2012-05-04	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	< 1	< 1
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	440	600	na	120	20000	na	9,2	na	150	na	33	12	na	450	5,07	3,1	na	na
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	310	210	na	130	1800	na	43	na	15	na	2,9	11	na	53	5,44	7,2	na	na
41b	Lilla Bleckan	2011-12-06	210	210	200	81	1,4	<1000	5	<2	1100	1200	1,8	82	85	1200	116	8,6	na	na
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	120	50	na	59	2800	na	20	na	1000	na	3,8	430	na	530	459	5	na	na
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	890	110	110	<1,0	2,7	<1000	1,7	<2	21000	21500	43	640	52	2200	180	8,6	1	< 1
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03	71	16	na	45	110	na	<1,0	na	3,6	na	0,28	57	na	79	62,9	3,9	na	na
42f	Franska bukten	2012-05-03	230	66	na	1,8	2,6	na	1,3	na	1800	na	2	410	na	1000	246	4,9	na	na
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	470	120	na	<1,0	85	na	1,8	na	8000	na	7,9	760	na	3100	6,96	9	na	na
43	K-trädg	2011-12-05	47	18	18	7	750	740	2	<2	22	22	0,77	140	140	<5,0	140	2,1	na	na
44	(16A)Åsen Norrmalm	2011-12-05	480	99	98	<1,0	<1,0	<1000	13	<2	5600	5700	6,1	950	10	1500	1,69	5,8	210	12
44b	Östermalm	2012-06-09	310	280	na	46	760	na	11	na	180	na	0,82	380	na	430	11,2	4,1	na	na
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	490	210	na	11	8	na	3,1	na	2500	na	2,9	1700	na	1800	1530	7,8	na	na
45	(19)Engelbrektsplan	2011-12-05	640	140	130	33	<100	<1000	<2	<2	1000	1000	2,5	3400	1200	4900	3780	23	< 1	< 1
45	(19)Engelbrektsplan	2012-05-03	520	120	na	52	560	na	11	na	2100	na	4,2	5700	na	6800	5280	22	na	na
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2011-12-15	200	100	na	49	12000	na	300	na	120	na	140	11	na	110	2,94	5	na	na
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2012-05-03	180	100	na	48	11000	na	280	na	4,6	na	14	5	na	22	4,48	4,4	na	na
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	220	200	na	210	10000	na	14	na	17	na	14	130	na	130	130	7,6	na	na
46b	N Djurgården	2011-12-05	410	240	240	110	<1,0	<1000	2,4	<2	120	120	0,56	8,2	7,6	56	1,42	11	< 1	< 1
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	440	71	na	54	5000	na	28	na	42	na	6,7	19	na	68	8,33	3,6	na	na
47a	(9A)Värtahamnen	2011-12-05	420	310	300	76	4,3	<1000	11	<2	1800	1800	2,3	28	27	390	3,97	11	< 1	< 1
48b	(8B)Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	320	130	130	7,7	<1,0	<1000	<1,0	<2	99	160	0,23	10	6,5	100	1,03	2,9	< 1	< 1
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	130	95	na	94	3000	na	4,5	na	81	na	3,2	<5	na	29	1,44	4,4	na	na
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	200	93	na	96	1300	na	50	na	24	na	1,5	6	na	160	2,9	4,3	na	na
53a	Skansen 401	2011-12-21	280	43	na	73	7700	na	61	na	5,6	na	8,9	9	na	330	6,35	12	na	na

4.3 Baskatjoner och metaller

Mätresultat över baskatjoner och metaller presenteras i Tabell 8.

Kalcium, magnesium, natrium och kalium

Baskatjonerna kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na) och kalium (K) visar generellt höga halter i Stockholms grundvatten (Tabell 8). Medianhalterna för dessa ämnen är också högre än för regionen (Tabell 8). Höga eller mycket höga halter är inte något problem för vattenlevande organismer där vattnet strömmar ut i ytvatten, snarare en tillgång, eftersom baskatjonerna är viktiga näringsämnen för djur och växtliv och de motverkar negativ påverkan från toxiska metaller. Att halterna är höga beror på de geologiska förutsättningarna men antagligen också på mänsklig påverkan genom vägsalt och fyllnadsmassor med cement och betong. Bedömningsgrunderna är baserade på att höga halter kan ge tekniska problem när vattnet används som dricksvatten. Eftersom grundvattnet inte används på det sättet är höga halter inget problem.

Barium och strontium

Barium (Ba) och strontium (Sr) förekommer i lägre halter än kalcium och magnesium men tillhör samma grupp i det periodiska systemet och beter sig på liknande sätt i marken. Inget av dessa ämnen ger allvarliga negativa effekter i ekosystemen och inget anmärkningsvärt kan sägas om resultaten (Tabell 8). Bedömningsgrunder saknas också för dessa två ämnen. Att ämnena analyserats är för att de påverkar jonbalansen och därför är av betydelse vid kvalitetskontroll av de kemiska resultaten (se vidare kapitel 5).

Järn, mangan, kisel och aluminium

Kisel (Si), aluminium (Al) och järn (Fe) är (i procentuell haltordning) utöver syre de vanligaste grundämnena i Sveriges berggrund, men dessa ämnen är mindre lösliga än baskatjoner och visar därför lägre halter i grundvatten. I Stockholms grundvatten är vanligtvis halterna mangan (median 178 µg/l) högre än järn (median 5 µg/l) (Tabell 8). Medianhalterna för mangan i Stockholms grundvatten är också högre än för regionen medan järnhalterna är lägre (Tabell 8). Aluminiumhalterna är låga (Tabell 8) vilket de också bör vara med tanke på att vattnet generellt har pH värden där aluminium inte är lösligt.

Halterna av järn och mangan (Mn) har betydelse när vattnet ska användas som kranvatten. Hög halt ger dålig smak och utseende och missfärgning av tvätt och sanitetsgoods. För ekosystemen har dessa ämnen ingen större betydelse annat än att de är starkt redoxkänsliga och faller ut/bildar fällningar när vattnet syresätts. Löst aluminium kan innebära problem för vissa vattenlevande djur där halterna i ytvatten är höga men bör inte vara något problem vid de pH värden som förekommer i Stockholm. De enda platser med något högre halter är provpunkt 14a (Lövstatippen) och 26c (Högdalstoppen) där aluminiumhalten eventuellt kan bero på påverkan av deponimaterial.

Arsenik

Arsenik (As) är en tungmetall som kan leda till cancer om halten är hög i dricksvatten och höga halter (klass 4 och 5) kan också ge biologiska effekter i ytvatten. Så höga halter har bara uppmätts på tre platser i denna undersökning, och inte i direkt anslutning till ytvatten (Tabell 8). Platser med höga halter kan tyda på markföroreningar, t.ex. från tidigare träimpregnering när ämnet fortfarande användes för impregnering eller från läckage från

användning av sådant impregnerat trä. Arsenik kan också läcka från deponier men förekommer också ofta naturligt i marken. Medianhalten av arsenik i grundvatten är något lägre i undersökningen (0,41 µg/l) än i regionen (0,67 µg/l, grönmarkerat i Tabell 8). Arsenikhalterna som uppmätts i undersökningen bedöms därför inte utgöra några problem.

Kadmium, kvicksilver och bly

Kadmium, kvicksilver och bly är alla starkt reglerade ämnen, där användningen var betydligt större tidigare i stadens historia än idag. Kadmium (Cd) förekommer i hög halt endast i en provpunkt i undersökningen. Varken kvicksilver (Hg, filtrerat) eller bly (Pb) förekommer i mer än måttlig halt i någon provtagningspunkt (Tabell 8). Ingen avsevärd skillnad från medianhalterna i regionen kan ses för kadmium och bly (grönmarkerat i Tabell 8). För kvicksilver har rapporteringsgränsen varit för hög för att medelhalterna ska kunna beräknas och beräknad medel- och medianhalt för regionen saknas också i SGU (2013). Eftersom halterna baskatjoner och pH är höga i Stockholm är rörligheten inte så stor; ämnena binds gärna till humusämnen/organiskt material och ler och bly även till järn- och manganoxider. Risken för negativa effekter i ekosystemen minskar också vid höga pH, kalcium- och magnesiumhalter.

Kvicksilver har även analyserats i ofiltrerade prov (Hg, ofiltrerat) och där är halterna högre, i fem fall är de högre än miljö kvalitetsnormerna för inlandsytvatten, 0,05µg/l, vilket motsvarar gränsen till hög halt i bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013). Jämförelsen är inte helt relevant eftersom det är filtrerade prov som ska analyseras och jämföras med miljö kvalitetsnormerna för inlandsytvatten och bedömningsgrunder för grundvatten. De tre prov som har kvicksilverhalter över rapporteringsgräns i filtrerade prov har halter som bara obetydligt överskrider rapporteringsgränsen, vilket ökar osäkerheten. Det gör det också vanskligt att analysera samband mellan halter i filtrerade och ofiltrerade prov, även om det utifrån dessa resultat inte ser ut att finnas några samband.

Kobolt och molybden

Kobolt (Co) och molybden (Mo) används bl.a. i legeringar men för dessa ämnen saknas bedömningsgrunder och information om regionala medianhalter vilket gör det svårare att bedöma eventuell mänsklig påverkan. Ämnena kom med på köpet i metallanalysen och Co har också analyserats i tidigare undersökningar, vilket möjliggör jämförelser.

Krom, koppar, nickel och zink

Krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni) och zink (Zn) är ytterligare tungmetaller som analyserats och där det finns bedömningsgrunder. Koppar och kromhalterna i Stockholm är för alla provpunkter under gränsen för måttlig halt (Tabell 8). Zink och nickelhalterna är något högre i förhållande till bedömningsgrunderna; måttlig halt (klass 3) är vanligt och i flera fall är halten hög (klass 4) eller mycket hög (klass 5). För nickel är medianhalten högre i Stockholm än i jordgrundvatten i regionen (grönmarkerat i Tabell 8). För koppar, krom och zink är medianhalterna lägre än de regionala medianhalterna i jordgrundvatten (grönmarkerat i Tabell 8). Zink används i stora mängder till att galvanisera stål, nickel är en metall som förekommer i metallegeringar, och krom används bl.a. i samband med ytbehandling av metaller. Koppar används i vattenledningsnät och elkablar, men är också vanligt som tak och fasadbeklädnad och i stuprör och hängrännor. Alla dessa ämnen binds i mark (även om zink, koppar och nickel hör till metaller som binds i mindre ut-

sträckning) vilket kan förklara de relativt låga halterna trots att dessa ämnen används mycket i urban miljö och också förekommer i dagvatten. Ett fåtal prov hade mycket höga halter nickel respektive zink men djupare studier krävs för att förklara orsakssambanden.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Nio provpunkter provtogs både vinter och vår. Provpunkt 19 hade en manganhalt som var avsevärt högre i vårprovet (mer än en tiopotens) och provpunkt 45 hade arsenik-, koppar- och zinkhalter som var avsevärt högre i vårprovet (mer än en tiopotens). I övrigt var skillnaderna små.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Vattendraget Sättraån (provpunkt 23b) vid Sättrabadet visar ca 900 gånger lägre mangan och zinkhalt samt ca 26 gånger lägre kobolthalt än intilliggande grundvattenrör (23). Även Flatendiket (37d) visar halter som skiljer sig från uppströms grundvatten (37c). Skillnaderna är dock mindre, med manganhalter 170 gånger lägre och kobolthalter sju gånger lägre i ytvattnet. Zinkhalten var istället (fyra gånger) högre och järnhalten 27 gånger högre i ytvattnet än i grundvattnet. Att manganhalten är lägre i ytvatten än i intilliggande grundvatten kan sannolikt förklaras av redoxprocesser, där mangan faller ut och därför inte finns löst i ytvattnet i någon större utsträckning. Även för de andra ämnena där halter i ytvatten är lägre än i grundvatten kan utfällning vara en förklaring.

Flatendiket (37d) hade högre halter zink, kadmium, bly, nickel, molybden, koppar, krom, arsenik, mangan och järn, men också något högre halter baskatjoner än Sättraån (23b), vilket kan bero på att Flatendiket har ett större inslag av trafikdagvatten. Å andra sidan var även halterna av de flesta ämnena högre också i grundvattnet vid Flaten (37c) vilket kan tyda på andra källor där, eventuellt historiska eller naturliga. Just de aktuella grundvattenrören är heller inte säkert representativa för allt det grundvatten som bildar ytvatten i dessa vattendrag. Röret vid Flaten sitter i ett litet avgränsat moränområde i ett kuperat koloniområde högre upp och ca 100 m från provtagningspunkten i vattendraget, medan röret vid Sättrabadet sitter i nära anslutning till provtagningspunkten i vattendraget, men med filtret under lera.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

När vattnet strömmar ut i botten av sjöar och vattendrag kan flera metaller fällas ut, bland annat tillsammans med fosfor, och bilda sedimentlager om vattnet innehåller syre. Syrehalten i ytvatten varierar med årstiderna och om reducerande/syrefattiga förhållanden uppstår i bottensedimenten kan ämnena (åter) gå i lösning. Den negativa effekt som då uppstår är i första hand kopplad till fosfor, som ofta är ett tillväxtbegränsande ämne i sjöarna. När fosforhalten ökar uppstår algbloomning och igenväxning. Fördelen är att de eventuellt skadliga metallerna då späs ut i den sammanlagda mängden biomassa. Om man bortser från fällningsmekanismer är ändå halter som uppmätts i ett antal ytvatten i Stockholm (Österås och Sternbeck, 2010) likartade med de som uppmätts i Stockholms grundvatten, för kadmium, krom, koppar, nickel, bly och zink.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Pettersson och Wahlberg (2010) har analyserat några av metallerna i inkommande avloppsvatten reningsverken. Detta avloppsvatten är en blandning av spill- och dagvatten.

Grundvatten i Stockholm

Resultat

Avloppsvattnet har analyserats på ofiltrerade prov till skillnad från grundvattnet där halterna i Tabell 7 är halter i filtrerade prov (från Tabell 8).

Tabell 7. Jämförelse mellan halter i Stockholms grundvatten (från Tabell 8) och i avloppsvatten till Henriksdals (HR) och Bromma reningsverk (BR) enligt Pettersson och Wahlberg (2010) som analyserat tidsproportionella 7-dygnsprov tagna i oktober 2007 och/april 2008. Dagvattenhalter är schablonhalter (min och max) som används i modellen StormTac (Larm 2012), för urban miljö med motsvarande markanvändning som förekommer inom kommunen.

Ämne (ofiltrerat prov för avlopps- och dagvatten men filtrerat för grundvattenprov)	Avlopps-vatten		Dag-vatten	Grund-vatten	Kommentar
	BR	HR	Min-max	Median (max)	
Arsenik (µg/l)	1,0/0,9	1,3/1,3	2-4	0,41 (7,02)	Generellt lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten, men undantag finns.
Kadmium (µg/l)	0,1/0,2	0,2/0,2	0,2-3	0,024 (4,18)	Generellt lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten, men undantag finns.
Zink (µg/l)	83/52	110/92	30-2000	4,4 (2070)	Generellt lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten, men undantag finns.
Nickel (µg/l)	5,2/5,1	7,3/7,9	1-60	1,71 (36)	Generellt lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten, men undantag finns.
Krom (µg/l)	2,9/2,3	3,3/3,9	1-70	0,07 (1,24)	Generellt lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten.
Bly (µg/l)	2,1/2,2	3,9/3,5	2-230	0,05 (1,75)	Lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten.
Koppar (µg/l)	49/45	70/71	12 - 300	2,0 (18)	Lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten.
Kvicksilver (µg/l)	0,1/0,08	0,1/0,2	0,02-0,5	<0,02 (0,073)	Lägre halt i filtrerat grundvatten än i ofiltrerat avlopps- och dagvatten.

Kvicksilver som analyserats både i ofiltrerade och filtrerade grundvattenprov (maxhalt 0,3 µg/l) visar att halter i grundvatten kan vara betydligt högre i ofiltrerade prov än i filtrerade. Det gör att samtliga metaller kan antas ha jämförbara halter i grundvatten som avloppsvatten om bägge analyseras på ofiltrerade prov.

Grundvatten i Stockholm

Resultat

Dagvattnets metallhalter (Tabell 7, från Larm 2012), uppmätta i ofiltrerade prov från urban miljö med liknande markanvändning som i Stockholm, visar generellt högre halter än det filtrerade grundvattnet. Eftersom grundvattenproven är filtrerade är det dock troligt att halterna hade varit fullt jämförbara. Det gäller även järn som enligt Larm 2012 kan antas ha halter om 1-8 mg/l i ofiltrerat dagvatten.

Tabell 8. Baskatjoner och metaller/grundämnen. Medel- och medianhalter har endast beräknats för ämnen med en större andel resultat över rapporteringsgräns.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	Ca	Mg	Na	K	Ba	Sr	Fe	Mn	Si	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Hg (ofiltrerat)	Mo	Ni	Pb	Zn
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1	(32)Granholmen	2011-11-26	169	35	49	10,1	155	802	0,0093	0,806	7,26	1,2	0,291	0,0121	0,649	<0,01	1,51	<0,002	<0,002	3,4	1,98	<0,01	2,97
1a	Kista-åsnislag	2011-11-25	117	10,6	36,1	4,99	41,4	200	0,0052	0,765	10,6	1,23	1,78	0,0175	0,163	0,0198	0,614	<0,002	<0,002	1,72	1,25	0,0359	10,8
1c	Akalla	2012-06-07	147	26,5	52	8	84,5	671	0,0019	0,438	9,48	1,22	0,239	0,004	0,0369	0,0397	0,54	<0,002	<0,02	0,924	0,776	<0,01	4,25
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	79,2	14,8	60,2	9,91	48,5	279	0,0032	0,14	9,47	0,722	2,01	<0,002	0,0469	0,0145	0,152	<0,002	<0,002	2,3	0,368	<0,01	1,02
4	(30)Johannelundstoppen	2011-11-26	126	18,5	57,5	7,43	61,4	468	0,0017	0,528	8,17	0,603	0,221	0,0721	0,745	0,0186	1,5	<0,002	<0,002	3,19	2,17	0,0495	2,33
4	(30)Johannelundstoppen	2012-05-05	126	18,3	57,4	8,35	65,1	458	0,0007	0,527	8,32	0,765	0,18	0,0845	0,805	0,0897	2,42	<0,002	<0,02	2,72	2,38	0,253	4,71
5b	Kyrksjön	2011-11-26	97,9	15,6	44,6	8,58	50,8	428	0,0053	0,17	6,86	0,717	0,293	<0,003	0,0467	<0,01	0,173	<0,002	<0,002	16,6	1,23	<0,01	1,41
5c	Judarn	2011-12-20	81,3	10,3	35,1	12,9	22,2	171	0,0036	0,0081	4,21	1,5	0,385	0,0213	0,0891	0,117	4,86	<0,002	<0,002	7,3	5,07	0,016	3,94
6	(55)Beckomberga	2011-11-26	140	49,4	85	23,4	58,9	607	0,0224	0,213	6,59	0,744	0,484	0,0656	1,58	0,0754	15,6	<0,002	<0,002	1,92	10,5	0,793	3,51
6	(55)Beckomberga	2012-05-06	94,7	27,7	43,8	28	46,3	362	0,0056	0,116	4,81	0,996	0,286	0,032	0,777	0,0537	3,28	<0,002	<0,02	3,33	5,43	0,341	3,73
7c	Bällstaviken	2012-05-06	117	25,9	73,1	9,67	28,4	596	0,0011	0,201	5,44	0,978	0,291	0,0118	0,414	0,0402	1	<0,002	<0,02	16	4,35	0,0316	2,27
8b	Bällstaån	2011-12-20	114	14,8	24,5	8,54	72	219	0,0039	0,00479	5,24	2,27	<0,1	0,0489	0,136	0,0891	4,99	<0,002	<0,002	4,38	2,38	1,75	6,05
9	(10 C) Ulvsunda	2011-11-28	69,5	10,6	79,6	13,7	24,6	164	0,459	0,237	6,23	5,24	0,216	0,0051	1,07	0,161	0,57	<0,002	<0,002	0,515	36,2	0,687	4,49
9	(10 C) Ulvsunda	2012-05-06	85,3	11,4	97	15,2	34,7	187	0,797	0,384	7,14	4,78	0,996	0,0112	0,466	0,308	1,22	<0,002	<0,02	0,701	22,8	1,17	5,86
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	108	14,7	40,7	7,38	39,8	198	0,0057	0,436	6,01	1,43	1,24	0,0522	0,924	0,0287	2,6	<0,002	0,003	5,84	1,73	0,0836	3,28
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	99,3	13,6	37,3	8,58	35,7	182	0,0058	0,445	5,6	0,753	0,412	0,0304	0,866	0,0225	2,38	<0,002	<0,02	5,52	1,66	0,0395	4,24
10c	Äppelvik	2012-01-11	97	16,3	44,4	6,63	24,2	215	0,0058	0,167	9,84	0,393	1,25	0,0089	0,187	0,0263	0,232	<0,002	<0,02	1,68	0,593	<0,01	3,65
10d	Stora mossens koloni omr	2012-05-06	93	13,4	29,4	9,56	41	227	0,002	0,244	4,6	2,37	0,466	0,0051	0,236	0,0919	3,08	<0,002	<0,02	2,96	2,13	0,0161	3,25
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	109	16,6	24,5	11,1	31,7	257	0,0008	0,275	6,12	0,693	0,313	0,0185	0,596	0,0156	2,27	<0,002	<0,02	2,58	1,06	<0,01	1,67
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	106	17,3	48,1	7,65	34,7	204	0,0023	0,0693	4,93	1,07	1,13	0,0713	0,728	0,0371	2,86	<0,002	<0,002	7,2	3,47	0,113	37,8
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	98,4	11,1	26,8	5,33	38,4	141	0,0021	0,257	7,26	1,45	0,658	0,0378	0,522	0,0367	1,33	<0,002	0,0238	1,98	3,96	0,0861	2,73
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	83,6	9,71	53,4	6,85	18,4	177	0,0097	0,0113	7,12	11,3	0,413	0,0242	0,421	0,148	13,1	0,0022	<0,02	6,23	1,59	0,0173	3,51
14a	Lövstatippen	2011-12-20	28,9	5,98	25,2	3,21	45,3	270	0,0482	0,00868	8,66	154	0,679	0,0506	0,463	0,769	17,9	0,0029	0,0046	4,39	1,87	0,1	3,28
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	109	15,9	29,5	6,32	30,9	271	0,0006	0,0592	5,43	0,891	0,17	0,0399	0,321	0,0425	1	<0,002	<0,002	3,25	1,09	0,0353	2,41
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	140	19,3	56,4	9,49	64,8	330	0,0006	0,24	4,09	0,898	0,396	0,0088	0,436	0,0123	2,22	<0,002	<0,02	2,34	2,2	0,0733	1,82
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-16	63,6	6,02	28	10,6	25,2	118	0,0214	0,143	6,7	3,29	0,584	0,0046	0,0735	0,115	<0,1	<0,002	<0,02	0,34	0,609	0,162	11,3
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	76,3	6,98	38,1	12,5	33,3	136	0,0288	0,178	6,76	3,7	0,367	<0,002	0,0679	0,126	0,288	<0,002	0,073	0,314	0,831	0,0812	4,14
15c	Kungsholmen N	2011-12-16	123	16,8	56,9	18,1	69,7	280	0,0186	0,646	16,6	0,488	0,212	0,0511	0,227	0,144	5,87	<0,002	0,0275	0,392	2,1	0,04	55,2
16	(2)Liljeholmen/Trek	2011-12-09	111	19,3	152	28,8	92,2	399	0,0431	0,187	8,74	0,862	<0,5	<0,002	0,0623	0,0556	0,12	<0,002	<0,02	1,26	0,592	0,0106	1,55
17	(39)Vinterviken	2011-12-09	98,9	9,14	35,5	5	36,6	178	0,0033	0,387	8,25	0,412	0,776	0,0211	0,226	0,0122	1,29	<0,002	<0,02	2,12	0,996	<0,01	9,09
18	Bredäng	2011-12-16	108	16,9	51,2	5,66	28,2	288	0,0098	0,504	7,34	0,836	0,308	0,0139	0,0952	0,0665	0,734	<0,002	<0,02	0,773	0,714	<0,01	4,77
19c	Hägersten	2011-12-21	50,8	5,96	19,5	3,08	16,4	109	0,0192	0,0174	6,12	22,7	0,16	0,0616	0,691	0,253	6,63	<0,002	<0,02	1,12	6,71	0,131	20,2
19d	Hägersten-Aspudden	2011-12-22	63,8	7,42	43,2	3,38	12,9	126	0,0012	0,000929	5,13	3,28	0,209	0,0739	0,122	0,0345	1,67	<0,002	0,0262	1,39	0,924	0,0267	10,5
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	86,5	9,51	47,6	4,6	16,7	172	0,0007	0,124	6,88	1,83	0,313	0,0865	0,431	0,0161	1,94	<0,002	<0,02	1,98	0,944	0,102	13,9
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	65,9	26,9	126	9,06	33	391	0,0039	0,317	8,32	2,05	1,11	0,0283	0,289	0,0505	2,08	<0,002	<0,02	2,57	0,841	0,0498	3,05
21	(57)Stureby	2011-12-12	147	23,3	96,9	8,89	73,7	318	0,138	0,387	6,89	0,482	0,429	0,0649	1,52	0,051	2,99	<0,002	<0,02	1,17	5,9	0,0151	15,4
21	(57)Stureby	2012-05-07	150	17,6	125	8,85	80,1	278	0,0025	0,193	6,09	0,471	0,192	0,0506	1,15	0,0693	2,46	<0,002	<0,02	1,49	4,74	0,0105	6,06
22	Enskedefältet	2011-12-12	29,7	20	267	12,4	28,3	420	0,0422	0,0713	8,94	1,19	<0,3	0,0035	0,139	0,0436	0,719	<0,002	<0,02	1,2	0,443	0,0406	5,62
23	Sättrabadet	2012-05-07	96,5	13	26,4	3,55	22,8	193	0,0065	0,545	8,57	1,08	0,272	0,0036	1,75	0,0217	0,499	<0,002	<0,02	1,07	4,23	<0,01	1010
23b	Sättraån (ej grundvatten)	2012-05-23	63,5	11,1	22,7	3,32	9,85	132	0,0054	0,000608	3,16	8,11	0,338	<0,002	0,0659	0,0472	1,37	<0,002	<0,02	1,03	1,83	<0,01	1,17
24	Långsjön	2012-05-07	67,7	7,38	11,4	2,37	22,9	124	0,987	0,283	8,9	22	0,849	0,0189	2,29	0,317	7,86	<0,002	<0,02	2	9	0,132	2070
26c	Högdalstoppen	2011-12-21	9,64	2,34	4,53	1,26	4,4	37,9	0,0023	0,0212	8,96	56	<0,3	0,0639	1,05	0,0597	2,24	<0,002	<0,02	0,268	3,92	0,101	23,7
27	(23)Gubbängen	2011-11-25	51,8	5,35	12,5	1,95	13,9	99,3	0,0026	0,127	5,99	3,94	<0,1	0,0388	0,219	0,0375	1,13	<0,002	<0,002	1,57	0,317	0,0154	2,96
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	58,2	5,91	14,7	2,27	10,8	102	0,0731	0,0583	6,5	10,8	1,03	0,0256	0,534	0,228	2,47	<0,002	<0,02	1,9	2,9	0,0199	3,63
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	98,6	9,75	37,2	4,44	57	317	0,0123	0,666	9,07	0,216	<0,2	0,0059	0,0495	0,0274	<0,1	<0,002	<0,02	0,839	0,253	<0,01	3,29
29	Tallkrogen/Olympiav	2011-11-25	115	12	108	5,2	48,9	300	0,0021	0,00356	6,96	0,986	<0,2	0,294	0,23	0,252	5,27	<0,002	<0,002	0,605	3,74	1,17	32,8

Tabell 8. Baskatjoner och metaller/grundämnen. Medel- och medianhalter har endast beräknats för ämnen med en större andel resultat över rapporteringsgräns.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	Ca	Mg	Na	K	Ba	Sr	Fe	Mn	Si	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Hg (ofiltrerat)	Mo	Ni	Pb	Zn
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	182	23,9	31,5	20,5	129	411	0,0051	0,0997	11,3	0,258	0,223	0,0042	0,0733	0,0664	0,596	<0,002	0,0207	1,38	1,36	<0,01	8,73
31	(50)Skrubba	2011-12-12	39,2	4,98	11	2,83	26	93,2	0,0024	0,0295	5,98	13,6	7,02	0,0104	0,0864	0,0238	0,917	<0,002	0,0945	2,26	1,07	0,0367	0,474
32	(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	81,3	19	53,1	5,45	43,1	301	0,0184	0,269	7,56	0,835	0,864	<0,002	0,0918	0,0399	0,961	<0,002	<0,02	0,968	0,676	<0,01	9,21
32b	Björkhagen	2012-06-07	82,3	16,1	71,8	8,17	21	236	0,0028	0,16	6,41	2,44	0,301	0,0069	0,152	0,052	0,755	<0,002	<0,02	1,33	0,761	0,0123	5,77
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	147	18,7	33,8	13,1	36,2	379	0,0013	0,0997	8,45	0,861	0,359	0,0411	0,487	0,088	3,42	<0,002	<0,02	1,41	3,63	<0,01	3,95
33b	Johanneshov	2011-12-22	10,4	2,84	97	21,7	1,98	18,8	0,001	0,00253	0,352	0,383	1,22	4,18	0,0177	<0,01	0,722	<0,002	<0,02	3,5	0,151	0,906	148
33c	Gla Enskede/Dagöv	2011-12-22	48,4	11,3	149	5,37	31,6	213	0,0044	0,143	5,78	1,29	0,554	0,0132	0,0518	0,19	0,691	<0,002	<0,02	1,15	1,2	0,0166	4,66
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	199	15,6	135	5,55	65,5	298	0,06	0,962	8,72	1,67	0,222	<0,002	0,821	0,104	0,499	<0,002	<0,02	0,646	3,1	0,102	474
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	155	25,3	62,2	6,43	64,2	302	0,0051	0,0511	6,19	1,75	0,982	0,0451	0,377	0,0239	1,86	<0,002	0,0206	0,549	2,09	0,0616	3,18
37b	Sköndal/Spettekakev	2012-01-11	6,47	2,8	76	5,75	0,613	67,4	0,1	0,00113	1,74	7,24	1,44	0,0034	0,0623	<0,01	0,671	<0,002	<0,02	0,906	0,636	0,0117	0,683
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	112	9,51	26,7	4,18	32,2	198	0,0021	0,192	7,4	2,89	0,487	0,0202	0,426	0,0345	1,7	<0,002	<0,02	1,08	1,69	<0,01	3,73
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	98,3	13,1	56,5	6,13	34,7	267	0,0558	0,00112	0,384	7,35	0,509	0,0211	0,0575	0,0789	2,16	<0,002	<0,02	2,39	2,73	0,0587	16,1
39b	Fagersjöviken	2012-01-11	88,4	10,1	10,4	2,48	16,5	167	0,0278	0,605	11,4	0,424	0,144	0,003	0,0402	0,0387	<0,1	<0,002	<0,02	0,396	0,51	<0,01	12,5
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	247	25,8	286	14,7	76,6	485	0,0006	0,365	7,3	1,15	<0,7	0,0788	0,637	<0,01	3,9	<0,002	0,137	1,42	2,69	0,304	8,81
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	96,3	16,8	159	21,8	22,4	282	0,0038	0,0179	4,14	1,15	<0,2	0,923	0,314	0,051	8,41	<0,002	<0,02	14,2	2,1	0,0193	1860
41b	Lilla Bleckan	2011-12-06	52,1	37,3	84,4	15,8	23,6	318	0,0013	0,313	9,11	3,62	7	0,0205	0,148	0,151	0,167	<0,002	0,0435	0,186	0,963	0,0744	4,98
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	46	6,64	35	10,2	15	85,9	0,0022	0,00604	3,45	5,15	1,58	0,0795	0,126	0,111	17,5	<0,002	0,0475	6,31	4,7	0,0357	42,4
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	159	16,8	72	40,5	15,1	275	0,65	0,608	21,1	0,548	<0,2	0,0164	0,239	0,184	<0,1	<0,002	0,0222	0,163	0,271	<0,01	2,92
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03	34,5	4,32	12,1	2,86	10,2	61,3	0,0032	0,00262	1,25	8,46	0,298	0,0041	0,0228	0,0784	3,75	<0,002	<0,02	1,23	0,954	0,0403	4,26
42f	Franska bukten	2012-05-03	62	6,72	45	9,98	9,9	108	0,0186	0,109	8,62	0,806	0,265	<0,002	0,0568	0,066	<0,1	<0,002	<0,02	0,164	0,238	<0,01	1,86
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	124	8,78	82,4	20	1,78	185	0,0242	0,692	20,3	0,669	0,248	<0,002	0,266	0,0578	<0,1	<0,002	<0,02	0,0783	0,322	<0,01	3,24
43	K-trädgå	2011-12-05	15,4	2,22	12	5,08	10,2	25	0,0027	0,00229	2,21	6,46	1,35	0,0606	0,0986	0,138	3,81	<0,002	0,0063	1,51	0,491	0,0934	31,3
44	(16A) Åsen Norrmalm	2011-12-05	115	5,26	40,7	8,52	29,1	252	3,43	0,558	11,7	0,312	<0,2	0,0103	0,172	0,137	0,12	<0,002	0,0035	0,0748	0,426	<0,01	7,53
44b	Östermalm	2012-06-09	109	21,4	150	23,4	43,4	297	0,0157	0,384	7,04	1,22	2,53	0,0107	0,102	0,0268	0,372	<0,002	<0,02	5,33	0,685	0,0156	4,74
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	132	10,4	131	26,4	29,5	227	0,0412	0,255	13	2,24	0,938	<0,002	0,21	0,109	0,132	<0,002	<0,02	0,616	0,569	0,0192	6,24
45	(19) Engelbrektsplan	2011-12-05	137	11,4	131	40,2	28	213	0,0698	0,11	20,4	11,5	0,364	0,017	0,217	1,24	0,305	<0,002	0,0188	1,05	1,11	0,649	2,07
45	(19) Engelbrektsplan	2012-05-03	121	11,7	125	40,1	19,4	175	0,0399	0,177	19,2	6,16	5,76	0,0777	0,435	0,935	12,4	<0,002	0,0719	15,1	4,03	1,26	91,2
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2011-12-15	74,9	7,42	72	15,2	68,8	165	0,0015	0,063	5,46	2,53	0,892	0,0598	0,411	0,0448	14,7	<0,002	<0,02	14,6	1,62	0,399	30,4
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2012-05-03	80,2	7,36	76,1	15,7	74,1	173	0,0013	0,0667	5,64	2,48	1,14	0,0569	0,406	0,0416	12,5	<0,002	<0,02	13,4	1,07	0,433	13,5
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	137	13,9	137	12,3	44,4	251	0,0045	0,0651	6,02	3,52	0,596	0,0823	0,487	0,335	9,88	0,0026	<0,02	5,97	5,05	0,0265	7,09
46b	N Djurgården	2011-12-05	169	14,6	125	10,3	120	410	0,0529	0,788	8,89	1,76	3,57	0,0144	0,958	0,132	0,346	<0,002	<0,002	1,15	3,56	0,0215	4,32
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	151	11,1	45,8	5,19	45,3	236	0,0008	0,0326	6,36	1,24	<0,2	0,0172	0,313	0,164	3,05	<0,002	<0,02	2,03	2,35	0,053	7,33
47a	(9A) Värtahamnen	2011-12-05	73,8	20,9	209	14,1	35,5	347	0,0074	0,362	8,15	0,758	<0,4	<0,002	0,628	0,105	<0,1	<0,002	<0,002	1,13	3,47	<0,01	2,55
48b	(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	91,6	14,5	48,4	5,7	30,3	362	0,0137	0,425	7,74	0,519	2,87	0,0048	0,0426	0,139	<0,1	<0,002	<0,002	2,54	0,679	<0,01	2,71
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	67,2	7,45	61,3	22	36,3	153	0,0277	0,0078	4,62	3,42	<0,1	0,0125	0,326	0,0169	1,72	<0,002	<0,02	19,1	1,58	0,0278	0,84
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	92,7	11,2	55,2	12,1	66	157	0,0007	0,0994	4,88	1,61	<0,2	0,0281	0,283	0,0813	3,77	<0,002	<0,02	9,27	1,81	0,247	2,19
53a	Skansen 401	2011-12-21	113	13,6	24,1	2,62	23,6	218	0,0031	0,289	6,09	2,78	0,385	0,0788	0,65	0,0876	8,26	<0,002	<0,02	1,47	3,09	0,0187	14,5
53a	Skansen 401 dubblett	2011-12-21	113	13,3	23,5	2,53	23,3	216	0,003	0,288	6,1	2,65	0,214	0,0748	0,623	0,0754	7,54	<0,002	<0,02	1,48	2,93	0,0205	19,4
53b	Skansen 402	2011-12-21	58,8	4,65	13,6	4,24	9,52	70,2	0,0085	0,00243	4,59	11,2	0,268	0,0099	0,115	0,217	7,65	<0,002	0,301	1,79	2,07	0,0236	1,03
53c	Skansen 403	2011-12-21	46	7,16	16,6	5,93	8,79	84,7	0,0196	0,342	4,88	8,6	0,411	0,0607	0,372	0,178	7,3	<0,002	0,0498	2,71	2,84	0,0217	4
Tillståndsklass 5 enligt SGU (2013)=mycket hög halt			100	30	100	50			1	0,4		500	10	5		50	2000	1	1		20	10	1000
Tillståndsklass 4 enligt SGU (2013)=hög halt			60	10	50	12			0,5	0,3		100	5	1		10	1000	0,05	0,05		10	2	100
Tillståndsklass 3 enligt SGU (2013)=måttlig halt			20	5	10	6			0,2	0,1		50	2	0,5		5	200	0,01	0,01		2	1	10
Min			6,47	2,22	4,53	1,6	0,613	18,8	0,0006	0,001	0,35	0,216	<0,1	<0,002	0,0177	<0,01	<0,002	<0,002	0,0748	0,151	<0,01	0,474	
Max			247	49,4	286	40,5	155	802	3,43	0,962	21,1	154	7,02	4,18	2,29	1,24	17,9	0,0029	0,301	19,1	36,2	1,75	2070
Medel			97,0	14,0	65,4	10,7	39,0	249	0,088	0,240	7,44	5,54	0,94	0,10	0,41	0,12	3,6	<0,002		3,2	2,81	0,20	73,32
Median			97,5	13,1	48,7	8,5	32,6	219	0,005	0,178	6,87	1,44	0,41	0,024	0,29	0,07	2,0	<0,002	<0,02	1,6	1,71	0,05	4,41
Median region F för jordgrundvatten (SGU 2013)			79,2	7,0	11,0	4,0			0,08	0,01		12	0,67	0,02		0,26	10				0,56	0,26	20

4.4 PAHer

Mätresultat för PAHer presenteras i Tabell 9.

Trots att rapporteringsgränsen varit hög (0,01 µg/l eller högre) för analyserade PAHer har 22 av 59 analyserade prov minst en PAH i halter över rapporteringsgräns och alla analyserade PAHer förekommer i minst ett prov (Tabell 9). Den vanligaste PAH-föreningen som identifierats är acenaften (tolv prov), och näst vanligast är fluoranten (tio prov) och pyren (tio prov). Bedömningsgrunder finns endast för benso(a)pyren och summa PAH₄, där benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(ghi)perylene och indeno(123cd)pyren ingår (SGU, 2013). För båda dessa parametrar förekommer höga eller mycket höga halter i tre av 59 prov. Två prov har halter över 1µg/l av enskilda PAHer, prov nr 9 (acenaften och fluoranten) och prov nr 10 (acenaften).

De halter som rapporterats från övriga landet enligt SGU (2013) är betydligt lägre. Provnnummer 9 är samma provpunkt som SGU provtagit och refererar till som industrimiljö i Stockholm (SGU, 2013, s 93), där de rapporterar ännu högre halter än vad nuvarande undersökning visat. Det området borde undersökas ytterligare då flera ämnen i provpunkten visar höga halter och det kan vara relevant att identifiera källorna. Orsaken till att provpunkt 40a, 45 och 50 har hög eller mycket hög halt av vissa PAHer, är inte vidare utrett, men även där kan det vara relevant att titta ytterligare på möjliga källor. Eftersom många prov har halter under rapporteringsgräns har inga mer exakta medel- och medianhalter kunnat beräknas och data för regionen har heller inte sammanställts i SGU (2013).

Tänkbara källor till PAHer är användning av kreasot, fossila bränslen och förbränning (av avfall, fossila eller biobränslen). Ämnena kan nå grundvatten med vattnets flöde genom marken, i huvudsak med partiklar, eftersom ämnena gärna binds till partiklar. Läckage från avloppsledningar och dagvattenledningar är också möjliga källor.

Jämförelser mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Provpunkt 45 visade för tio ämnen upp till fyra gånger högre halter vid majprovtagningen än vid decemberprovtagningen, men för två ämnen lägre. Provpunkt 21 är svår att avgöra p.g.a. den höga rapporteringsgränsen. Provpunkt 15b visar för två ämnen högre halter i decemberprovet än i majprovet och för ett ämne är det tvärt om. En slutsats av detta är att halterna kan skilja sig mellan olika provtagningstillfällen, men att det inte är självklart på vilket sätt eller att det finns årstidsrelaterade samband.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Både grundvattenprov och prov från vattendrag vid Sättrabadet respektive vid Flatens NV-ände hade halter under rapporteringsgräns, utom för naftalen där grundvattenröret vid Sättrabadet (nr 23) hade en halt strax över rapporteringsgräns. PAHer, som gärna binds till partiklar, tycks inte ha nått dessa platser. Bägge dessa grundvattenrör var nyinstallerade med rörfiltret under lera. Partikelbundna ämnen borde kunna transporteras i någon högre utsträckning med ytvattentransport. Att PAH-halterna var så låga i vattendragen kan eventuellt förklaras med lågt flöde vilket gör att partiklar sedimenterar och inte hamnar i det vatten som provtagits.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

PAHer mäts vanligtvis inte i vatten eller så uppmäts halter under rapporteringsgräns. Eftersom de flesta PAHer har låg löslighet i vatten är de partikelbundna och hamnar därför istället i sediment. Några jämförelser har därför inte gjorts.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Vanliga halter av enskilda PAHer i dagvatten är 0,01-0,4 µg/l (Larm 2012) och i avloppsvatten 0,02-0,2 µg/l (Pettersson och Wahlberg, 2010). För enskilda PAHer är det jämförbara halter med de som uppmäts i ca 25 % av grundvattenproven från 2011/2012.

Tabell 9. PAHer. Samtliga prov över rapporteringsgräns är svagt gulmarkerade.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	naftalen	ace-naftilen	acenaften	fluoren	fenantren	antracen	fluoranten	pyren	benzo(a)-antracen	dibenso-(ah)-antracen	krysen	benso(a)-pyren	benso(b)-fluoranten	benso(k)-fluoranten	benso(ghi)-perylen	indeno-(123cd)-pyren	summa PAH4*	PAH, summa 16**	PAH, summa cancerogena***	PAH, summa övriga***	PAH, summa L	PAH, summa M	PAH, summa H
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1c	Akalla	2012-06-07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
4	(30)Johannelundstoppen	2012-05-05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
5b	Kyrksjön	2012-05-06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
5c	Judarn	2011-12-20	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
6	(55)Beckomberga	2012-05-06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
7c	Bällstaviken	2012-05-06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,045	<0,015	<0,025	0,01
8b	Bällstaån	2011-12-20	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
9	(10 C) Ulvsunda	2011-11-28	<0,1	0,222	8,75	0,112	0,058	0,143	1,04	0,475	0,059	0,016	0,052	0,027	0,036	0,034	0,021	0,023	0,134	11	0,25	11	9	1,8	0,27
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	<0,1	0,033	1,35	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	1,5	<0,04	1,5	1,4	0,14	<0,045
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
14	Maitesholmsbadet	2012-05-05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,01	<0,035	0,01	0,01	<0,025	<0,04
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-16	<0,1	<0,01	0,01	0,025	<0,03	<0,02	0,162	0,142	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,34	<0,04	0,34	0,01	0,33	<0,045
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	<0,01	<0,01	0,024	0,025	<0,01	<0,01	0,067	0,059	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,18	<0,035	0,18	0,024	0,15	<0,04
15c	Kungsholmen N	2011-12-16	<0,1	<0,01	0,081	0,02	<0,03	<0,02	0,13	0,139	0,012	<0,01	0,012	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,39	0,024	0,37	0,081	0,29	0,024
17	(39)Vinterviken	2011-12-09	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
18	Bredäng	2011-12-16	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	0,022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,022	<0,035	0,022	0,022	<0,025	<0,04
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
21	(57) Stureby	2011-12-12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
21	(57) Stureby	2012-05-07	0,016	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,016	<0,035	0,016	0,016	<0,025	<0,04
23	Sätrabadet	2012-05-07	0,015	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,015	<0,035	0,015	0,015	<0,025	<0,04
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
24	Långsjön	2012-05-04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,019	0,015	<0,01	<0,01	0,013	<0,01	0,015	<0,01	<0,01	<0,01	0,015	0,062	0,028	0,034	<0,015	0,034	0,028
27	(23) Gubbängen	2011-11-25	<0,1	<0,01	0,112	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,11	<0,04	0,11	0,11	<0,08	<0,045
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
31	(50)Skrubba	2011-12-12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
32	(53)Enskede/Kärntorp - Ältasjön	2011-12-14	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
32b	Björkhagen	2012-06-07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,19	<0,04	<0,15	<0,06	<0,08	<0,045
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	0,019	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,019	<0,035	0,019	0,019	<0,025	<0,04
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,011	<0,035	0,011	0,011	<0,025	<0,04
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
39b	Fagersjövik	2012-05-04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	0,02	<0,01	<0,01	0,0												

Tabell 9. PAHer. Samtliga prov över rapporteringsgräns är svagt gulmarkerade.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	naftalen	ace-naftylen	acenaften	fluoren	fenantren	antracen	fluoranten	pyren	benso(a)-antracen	dibenso-(ah)-antracen	krysen	benso(a)-pyren	benso(b)-fluoranten	benso(k)-fluoranten	benso(ghi)-perylen	indeno-(123cd)-pyren	summa PAH4*	PAH, summa 16**	PAH, summa cancerogena***	PAH, summa övriga****	PAH, summa L	PAH, summa M	PAH, summa H	
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
42f	Franska bukten	2012-05-03	<0,01	<0,01	0,129	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,036	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,17	<0,035	0,17	0,13	0,036	<0,04	
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
44	(16A) Åsen Norrmalm	2011-12-05	<0,1	<0,01	0,024	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,024	<0,04	0,024	0,024	<0,08	<0,045	
44b	Östermalm	2012-06-09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	<0,01	<0,01	0,021	<0,01	<0,01	<0,01	0,019	0,016	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,056	<0,035	0,056	0,021	0,035	<0,04	
45	(19) Engelbrektsplan	2011-12-05	<0,1	<0,01	0,162	0,086	<0,03	<0,02	0,116	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,47	<0,04	0,47	0,16	0,31	<0,045	
45	(19) Engelbrektsplan	2012-05-03	<0,01	<0,01	0,111	0,056	0,016	0,027	0,318	0,3	0,03	<0,01	0,037	0,028	0,039	0,012	0,058	0,027	0,136	1,1	<0,04	0,17	0,89	0,11	0,72	0,23
45d	Vasastan N/Upplandsg	2012-05-03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
46b	N Djurgården	2011-12-05	<0,1	<0,01	0,053	0,035	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,088	<0,04	0,088	0,053	0,035	<0,045	
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
48b	(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	<0,1	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	<0,02	<0,03	<0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,18	<0,04	<0,14	<0,1	<0,08	<0,045	
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	0,011	<0,04	0,011	<0,045	<0,015	<0,025	0,011
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
	Tillståndsklass 5 enligt SGU (2013) = mycket hög halt													0,01					<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
	Tillståndsklass 4 enligt SGU (2013) = hög halt													0,002					<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
	Tillståndsklass 3 enligt SGU (2013) = måttlig halt													0,001					<0,04	<0,08	<0,035	<0,045	<0,015	<0,025	<0,04	
	Halt över rapporteringsgräns																									
Min			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01								
Max			0,022	0,222	8,75	0,112	0,058	0,143	1,04	0,475	0,059	0,016	0,052	0,028	0,039	0,034	0,058	0,027								
Medel			<0,1	<0,1	<1	<0,1	<0,03	<0,02	<0,3	<0,1	<0,03	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02								
Median			<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01								
	* Summa PAH4 består av benso(b)-fluoranten, benso(k)-fluoranten, benso(ghi)-perylen och indeno-(123cd)-pyren																									
	** PAH summa 16 består av alla analyserade PAHer																									
	*** PAH summa cancerogena består av benso(a)antracen, krysen, benso(b)-fluoranten, benso(k)-fluoranten, benso(a)pyren, dibenso(ah)antracen och indeno(123cd)pyren																									
	**** PAH summa övriga motsvarar de som inte listats som cancerogena																									
	L, M och H visar summering av PAHer med låg molekylvikt (PAH-L), med medelhög molekylvikt. (PAH-M) och med hög molekylvikt (PAH-H)																									

4.5 Klorerade och bromerade alifater samt BTEX

Mätresultat över klorerade och bromerade alifater samt BTEX presenteras i Tabell 10.

Klorerade alifater

Få prov visar halter av klorerade alifater över labbets rapporteringsgräns. Å andra sidan är rapporteringsgränsen relativt hög (100 ng/l) och provtagningsförhållandena var inte optimala för flyktiga ämnen, vilket gör att ämnena kan finnas i grundvattnet utan att de påvisats över rapporteringsgräns i provet.

Triklormetan (kloroform) är enligt SGU (2013) den klorerade alifat som är vanligast förekommande i referensmiljö, med ett medelvärde om 39 ng/l och max 160 ng/l, och diklormetan är den som är näst mest vanlig, med en medelhalt om 16 ng/l. Ingen av dessa ämnen kan konstateras i nuvarande undersökning, vilket sannolikt kan förklaras av den jämförelsevis höga rapporteringsgränsen (100 ng/l eller högre). Rapporteringsgränsen om 100 ng/l accepterades utifrån riktvärden för grundvatten enligt SGU-FS 2008:2, där riktvärden för klorerade alifater är 3 000-100 000 ng/l, vilket är betydligt över de halter som rapporterats i SGU (2013). Om triklormetan och diklormetan inte syns över rapporteringsgräns i denna studie syns istället 1,1-dikloreten, 1,2-dikloreten (både trans- och cis-isomererna), trikloretan, trikloretan och tetrakloreten i halter över 100 ng/l.

I sex provpunkter (7c, 10, 30, 33d, 50 och 51) finns fler än en av de analyserade klorerade alifaterna i halter över rapporteringsgräns och i tre finns en (9, 42e och 48b). De två provpunkter som har mycket hög halt av triklor-+tetrakloreten är provpunkterna 7c och 10, och ingen av dessa platser har tidigare kända källor för dessa ämnen, vilket är skäl till att göra mer fördjupade lokala undersökningar av källor och spridningsmönster.

Summan av tri- och tetrakloreten hör till de parametrar där det finns ett riktvärde för grundvatten (SGU-FS 2008:2). I fyra av 45 grundvattenprov överskrids halten för ”utgångspunkt för att vända trend” (SGU-FS 2008:2) eller uppnås hög eller mycket hög halt enligt bedömningsgrunderna (SGU, 2013). Även för 1,2-dikloreten och triklormetan (kloroform) finns bedömningsgrunder, men halterna är här låga, inget av dessa ämnen förekommer över rapporteringsgräns.

Triklor- och tetrakloreten har använts som lösningsmedel bland annat i verkstadsindustrin (avfettningsmedel) och tetrakloreten har också använts vid kemtvätt. Ämnena bedöms vara cancerogena. De har en förmåga att tränga igenom betong och är korrosiva (sönderfaller delvis till korrosiv saltsyra), vilket gör att de vid spill kan läcka till mark och grundvatten. De är tyngre än vatten, vilket innebär att de transporteras liksom grundvattnet men gärna fastnar i djupa fickor i jordlager och berg. De har viss löslighet i vatten och övergår dessutom till viss del i gasfas, vilket gör dem svårberäkneliga. Vid syrefattiga förhållanden kan dessa ämnen brytas ner till vinylklorid, cis- och trans-1,2 dikloreten.

Eftersom de klorerade alifaterna dels är tunga och kan transporteras i hög koncentration långt på stort djup och dels är flyktiga så att de kan de spridas till luften och tränga in i byggnader är det ofta svårt att förutsäga var ämnena kan finnas även om man känner till verksamheter där ämnena använts och kan ha läckt till miljön. För att fånga upp ämnena vid provtagning från grundvattenrör måste rörens filterdel sammanfalla med djupet där föroreningarna transporteras. Det är å ena sidan bekymmersamt att dessa ämnen påträffats

Grundvatten i Stockholm

Resultat

vid platser utan kända källor och i jordgrundvatten, som ändå är relativt ytligt grundvatten. Å andra sidan är orsaken sannolikt gamla utsläpp och åtgärder är svåra att sätta in även om man lyckas lokalisera källan. De klorerade alifaterna och vinylklorid är inte helt ovanliga som markföroreningar, och har uppmätts i andra urbana miljöer, som Köpenhamn (GEUS, 2012, sid 64-66) och Malmö (Miljöförvaltningen i Malmö stad, 2005).

Vinylklorid har påträffats i fyra prover, varav tre är sådana där andra klorerade alifater också påträffats (nr 7c, 10 och 33d) och ett (nr 47a) innehåller också toluen. Vinylklorid är mycket cancerogent men oxideras snabbt i kontakt med luft och utgör därför mest ett hälsoproblem, när det förekommer i grundvatten som används som dricksvatten.

Bromerade alifater

Tre bromerade alifater har analyserats i 29 av proven, men bara ett prov (nr 42e) innehåller en halt över rapporteringsgräns, 300 ng/l av ämnet bromdiklormetan (Tabell 10).

BTEX

Bensen, toluen (=metylbensen), etylbensen och summa xylener (=dimetylbensener) beskrivs ofta med förkortningen BTEX. Få prov (Tabell 10) innehåller halter över rapporteringsgräns; bensen i ett prov (nr 9), toluen i fyra prov (nr 42d, 44, 47a och 48b), etylbensen i ett (nr 10) och summa xylener i två (nr 9 och 10). Endast för bensen finns riktvärde och bedömningsgrunder. Prov nr 9 har en halt över ”utgångspunkt för att vända trend” och visar hög halt enligt bedömningsgrunder för grundvatten.

Maxhalterna av BTEX som uppmätts i nuvarande undersökning överskrider de som uppmätts i screeningundersökningar i övriga landet (SGU, 2013). SGUs screening 2006 uppmätte t.ex. en maxhalt om 12 ng/l för bensen (här 300 ng/l), 56 ng/l för toluen (här 500 ng/l), 5 ng/l för etylbensen (här 500 ng/l) och 42 ng/l för xylener (här 300 ng/l).

Bensen, toluen, etylbensen och xylener förekommer i bensin och andra bränslen. Källor till BTEX kan vara spill och läckage från bensin-, olje- och dieselanvändning och förvaring. I Stockholm finns flera bergum där man tidigare förvarat olja (i Bromma, Vårthamnen och Loudden). Ingen av provpunkterna i nuvarande undersökning ligger i strömningsriktningen från dessa platser. För att minska risken för att oönskade ämnen sprids från dessa bergum till omkringliggande grundvatten pumpas också grundvatten i bergummen bort för rening. Sannolikheten att källor till föroreningar är bergummen, är därför liten för proven i Tabell 10.

Flera av dessa ämnen förekommer i oljor som inte är vattenlösliga. Lättare fraktioner kan lägga sig ovanpå grundvattenytan medan tyngre kan ta sig djupare. Transporten är därför svårberäknelig. Provtagningen från grundvattenrör med filter på ett visst djup kan därför innebära att ämnena inte hamnar i provet trots att det finns en förorening på den geografiska platsen.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Endast en provpunkt (9) har provtagits både i november 2011 och i maj 2012. I denna provpunkt fanns 200 ng/l trikloretet i novemberprovet medan halten var under rapporteringsgräns i majprovet.

Intressant är också att jämföra med de resultat Fried (2013) fick vid provtagningen av klorerade ämnen i tre av provpunkterna i augusti 2010. I två av proven (9 och 48b) fanns

vid provtagningen 2011 trikloreten medan dessa halter var under rapporteringsgräns 2010. I en provpunkt (20) 2010 fanns cis-1,2-dikloreten (1,8 µg/l) men halten var under rapporteringsgräns 2011. Sammanlagt tyder dessa resultat på att åtminstone vissa kloretrade alifater kan ha halter som skiljer sig mellan olika provtagningstillfällen. Att dra slutsatser är emellertid tveksamt eftersom ämnena är flyktiga och påverkas av provtagning och provhantering, vilket lika gärna kan förklara sådana skillnader.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Eftersom flera av ämnena är flyktiga är det mindre relevant att jämföra halterna med halter i ytvatten. Inga prov har därför tagits i Flatendiket och Sättraån i denna undersökning.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Eftersom flera av ämnena är flyktiga är det mindre relevant att jämföra halterna med halter i ytvatten.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Pettersson och Wahlberg (2010) uppmätte i inkommande avloppsvatten till reningsverken halter av triklorometan (<0,3-0,5 µg/l), tetrakloreten (0,2-1,8 µg/l), vinylklorid (0,02 µg/l) och toluen (0,62-<1 µg/l) men för övriga ämnen var halterna under rapporteringsgräns. Både högre och lägre halter än så har uppmätts i grundvatten, där rapporteringsgränsen varit likvärdig. Detta kan innebära att avloppsläckage i vissa fall skulle kunna vara en källa. Eftersom flera av ämnena är flyktiga är det mindre relevant att jämföra halterna med halter i dagvatten.

4.6 Fenolära ämnen, dess etoxilater och koffein

Mätresultat över fenolära ämnen, dess etoxilater och koffein presenteras i Tabell 11.

Alkylfenoler och dess etoxilater samt bisfenolA

För alkylfenoler, alkylfenoletoxilater samt bisfenol A saknas bedömningsgrunder och riktvärden för grundvatten (SGU, 2013). För att öka läsbarheten i Tabell 11 är alla prov med rapporterade halter markerade med blek färg; bisfenol A, alkylfenolerna och dess etoxilater har markerats rött för halter över 1 µg/l, orange för halter över 0,1 µg/l och gult för halter under 0,1 µg/l men över rapporteringsgräns. Dessa gränser är inte baserade på risknivåer eller liknande, och röd och orange färg bör därför inte tolkas som risk på samma sätt som där det finns bedömningsgrunder. Som jämförelse finns ett gränsvärde för hur mycket bisfenol A en människa kan få i sig utan risk för hälsan (TDI, totalt dagligt intag, enligt EFSA 2006) om 50 µg/kg kroppsvikt och dag. Den högsta uppmätta halten i grundvatten var 1,3 µg/l, vilket innebär att det krävs ett intag om 38 l/kg kroppsvikt och dag för att uppnå TDI. Risken att få i sig för mycket BisfenolA genom att dricka grundvatten i Stockholm bedöms därför liten.

Inga alkylfenoletoxilater har kunnat påvisas över rapporteringsgräns i dessa prov, däremot oktylfenol i 25 %, nonylfenol i 7 % och bisfenol A i 19 % av proven. I låga halter är dessa ämnen alltså vanliga i Stockholms grundvatten. De provpunkter som har mer än två fenolära ämnen över rapporteringsgräns är 7c, 9, 15b, 15c, 42d och 44b. Orsaken till att det inte ser ut att finnas några alkylfenoletoxilater i grundvattnet kan vara att etoxigrupperna kan ha hunnit spjälkats av och då bildas de mer svårnedbrytbara alkylfenolerna.

Orsaken till förhöjda halter bisfenolA, oktyl- och/eller nonylfenol är oklar. Två av provpunkterna med högre halter bisfenol A (7c och 51) var nysatta grundvattenrör av stål (övriga nysatta rör var av PEH). Krav ställdes på att materialet skulle vara fritt från de ämnen som analyserades, men det är inte helt omöjligt att bisfenol A på något sätt kan finnas i materialet i rören.

Provpunkt 9 och 44b har höga halter av många ämnen, bl.a. de som är beskrivna i kapitel 4.2, vilket kan tyda på avloppsläckage åtminstone där. Å andra sidan kan dessa ämnen också vara industri-/handelsrelaterade och provpunkt 9 ligger i ett industri-/handelsområde, varför utsläpp från verksamheter i området också är möjliga källor. Halter av nonylfenoler och nonylfenoletoxilater i dagvatten har analyserats av Björklund (2010) som bedömde att källan där i huvudsak är fordon, men att också betong är en källa, liksom däck. Ämnena kan vara tillsatser i smörjmedel, bränsle och bilskötselprodukter, som avfettnings- och rengöringsmedel, polish och vaxer. Oktylfenol används bl.a. vid gummiproduktion och oktylfenoletoxilater används som detergenter, dispergenter och emulgeringsmedel. Alkylfenoletoxilater används bland annat i textiliebranchen. Motsvarande källor som för dagvatten kan tänkas och dessutom är läckage av avloppsvatten en möjlig källa för dessa ämnen till grundvatten. Eftersom nonylfenoler och etoxilater användes i stora mängder i bl.a. bilvårdsmedel före 1980, kan det finnas höga halter i marken där det funnits en verkstad eller biltvätt.

Eftersom huvuddelen av proven hade halter under rapporteringsgräns har inga mer exakta medel- eller medianhalter kunnat beräknas. Ingen sammanställning över halter för dessa ämnen från andra undersökningar har gjorts i SGU (2013).

Koffein

För koffein saknas bedömningsgrunder och riktvärden för grundvatten (SGU, 2013) och ämnet är heller inget problemämne eftersom nedbrytningen bedöms vara snabb. I resultat-sammanställningen (Tabell 11) är alla prov med rapporterade halter markerade med bleka färgmarkeringar; koffeinhalter har markerats rött för halter över 1 µg/l, orange för halter över 0,1 µg/l och gult för halter under 0,1 µg/l men över rapporteringsgräns. Koffein har kunnat påvisas i nästan alla prov som analyserats (83 %). Ingen sammanställning över koffeinhalter från andra undersökningar har gjorts i SGU (2013).

Rapporteringsgränsen för koffein har generellt varit lägre än för de andra ämnena och koffein är väldigt känsligt för kontamination; om den som analyserat eller hanterat proverna druckit kaffe kan det synas i provet. Kontamination kan inte uteslutas även om de som skött provtagningen varit medvetna om detta och försökt undvika den risken och man bör kunna utgå från att labbpersonalen har sådan kunskap. Syftet med koffeinanalyserna var att påvisa pågående avloppsläckage eftersom koffein brytas ner relativt snabbt. Högst halt har rapporterats i provpunkt 45f. Eftersom den provpunkten inte har högre halter av andra ämnen som bör finnas i avloppsvatten (t.ex. alkylfenolerna, fosfatfosfor eller ammoniumkväve) är det tveksamt om läckage från en avloppsledning är en troligare källa där än på andra platser. Platsen är emellertid inte helt osannolik att välja för den som är i området och får plötsligt behov att kissa. En hypotes till att koffein så ofta påträffats i Stockholms grundvatten kan vara att det gärna kissas på grundvattenrör. Om urin kan transporteras utefter röret snabbare än vid normal perkolations genom markzonen, skulle olika ämnen i urin eventuellt kunna nå ända ner till grundvattenzonen utan att hinna brytas ner. Är då rapporteringsgränsen låg kan eventuellt halter uppmätas trots att minst tre rörvolym vatten omsatts innan provtagningen.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Halter uppmätta i provpunkt 15b visade jämförbara halter alkylfenoler vid provtagningen i december respektive maj. Inga andra provpunkter provtogs både vinter och vår.

Jämförelse med Flatendiket och Sätträån

Både proven från grundvattenrör intill och ytvattenproven från Flatendiket och Sätträån hade halter under rapporteringsgräns varför ingen mer ingående jämförelse kan göras.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Österås med flera (2011) har uppmätt nonylfenolhalter i Drevviken i prov tagna 2010, med en högsta uppmätt halt om 230 ng/l. Inga prov från Årstadal eller Blockhusudden hade i deras studie halter över rapporteringsgräns (20 ng/l). Vad gäller oktylfenoler hade inget prov från någon av lokalerna halter över rapporteringsgräns (10 ng/l). Halterna i grundvattnet är i flera fall högre. Både alkylfenolerna och BisfenolA är östrogena ämnen där effekter på vattenlevande organismer är möjliga även i låga halter (Adolfsson Erici m.fl. 2005).

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

De halter av nonyl- och oktylfenoler som uppmätts i denna undersökning är i samma storleksordning som de som uppmätts i inkommande avloppsvatten till Stockholm Vattens reningsverk enligt Pettersson och Wahlberg (2010). Pettersson och Wahlberg fann

Grundvatten i Stockholm

Resultat

högre halter av etoxilaterna än av respektive alkylfenol i avloppsvattnet, storleksordningen 10 µg/l nonylfenoletoxilat och 0,3 µg/l oktylfenoletoxilat. Dessa halter är minst 30 till 100 gånger högre än rapporteringsgränsen och därmed än vad som uppmätts i grundvattnet.

Halter som uppmätts i dagvatten från Stockholm och Göteborg (Björklund 2011) var för nonylfenol upp till 1,2 µg/l, med en medianhalt om 0,1 µg/l, med högre halter i snö (upp till 6,2 µg/l). I grundvattenundersökningen var rapporteringsgränsen 0,1 µg/l, och högsta uppmätta halt var 5,1 µg/l, alltså klart jämförbart med vad som uppmätts i dagvatten. Björklund (2011) uppmätte oktylfenol i halter upp till 0,35 µg/l med medianen 0,03 µg/l. Även för oktylfenol uppmättes högre halter i snö (upp till 2,6 µg/l). För oktylfenol var rapporteringsgränsen lägre än för nonylfenol i grundvattenundersökningen, 0,01 µg/l, och fler prov hade rapporterade halter. Maxhalten som uppmättes i grundvattnet var 1,6 µg/l, men vanligare halter var 0,03 µg/l, vilket alltså motsvarar halter Björklund uppmätt i dagvatten. Vad gäller etoxilaterna, som inte visat halter över rapporteringsgräns i grundvattnet, fann Björklund (2011) i enstaka prover halter motsvarande de för respektive alkylfenol. Även i de studierna låg medianhalten för etoxilaterna under rapporteringsgräns.

Tabell 11. Fenolära ämnen, dess etoxilater och koffein. Bedömningsgrunder saknas. Färgmarkering för resultat över rapporteringsgräns. na = "not analysed", analys saknas.

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	bis-fenol A	4-tert-oktyl-fenol (OF)	4-tert-OF-mono-etoxilat	4-tert-OF-di-etoxilat	4-tert-OF-tri-etoxilat	4-nonyl-fenoler (NF, tekn blandn)	4-NF-mono-etoxilat	4-NF-di-etoxilat	4-NF-tri-etoxilat	koffein
			ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
1	(32)Granholmen	2011-11-26	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
1c	Akalla	2012-06-07	<20	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	<50	35	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
4	(30) Johannelundstoppen	2012-05-05	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
5b	Kyrksjön	2012-05-06	<50	37	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
5c	Judarn	2011-12-20	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	8
6	(55) Beckomberga	2012-05-06	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
7c	Bällstaviken	2012-05-06	1300	19	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	6
8b	Bällstaån	2011-12-20	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	7
9	(10 C) Ulvsunda	2011-11-28	110	70	<10	<10	<10	1500	<200	<200	<100	28
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	na	na	na	na	na	na	na	na	na	<20
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	15	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
10c	Äppelviken	2012-01-11	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	8
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	43
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	7
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	15
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	<50	1630	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	12
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<50
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-16	<50	53	<10	<10	<10	848	<100	<100	<100	28
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	<50	53	<10	<10	<10	978	<100	<100	<100	na
15c	Kungsholmen N	2011-12-16	59	76	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	31
18	Bredäng	2011-12-16	<50	15	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	55
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	16
21	(57) Stureby	2012-05-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
23	Sätrabadet	2012-05-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	14
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
24	Långsjön	2012-05-04	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	17
27	(23) Gubbängen	2011-11-25	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
27	(23) Gubbängen	2012-05-04	na	na	na	na	na	na	na	na	na	11
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	14
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	na	na	na	na	na	na	na	na	na	9
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	460	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	21
31	(50)Skrubba	2011-12-12	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	24
32	(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	35
32b	Björkhagen	2012-06-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<50
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	17
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	13
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	<20	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
37b	Sköndal/Spettekakev	2012-01-11	na	na	na	na	na	na	na	na	na	31
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
39b	Fagersjövik	2012-01-11	na	na	na	na	na	na	na	na	na	5
39b	Fagersjövik	2012-05-04	<50	16	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	<20	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	53
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	63
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	130	12	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<5
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
42f	Franska bukten	2012-05-03	11	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	30
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	21
44	(16A) Åsen Norrmalm	2011-12-05	<50	21	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<5

Tabell 11. Fenolära ämnen, dess etoxilater och koffein. Bedömningsgrunder saknas. Färgmarkering för resultat över rapporteringsgräns. na = "not analysed", analys saknas.

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	bis-fenol A	4-tert-oktyl-fenol (OF)	4-tert-OF-mono-etoxilat	4-tert-OF-di-etoxilat	4-tert-OF-tri-etoxilat	4-nonyl-fenoler (NF, tekn blandn)	4-NF-mono-etoxilat	4-NF-di-etoxilat	4-NF-tri-etoxilat	koffein
			ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l
44b	Östermalm	2012-06-09	370	31	<10	<10	<10	5090	<100	<100	<100	na
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	<10	13	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
45	(19) Engelbrektsplan	2011-12-05	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<5
45d	Vasastan N/Upplandsg	2012-05-03	<18	11	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	620
46b	N Djurgården	2011-12-05	<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	<20	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
48b	(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	56	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	600	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	180	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	na
Min			<10	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<5
Max			1300	1630	<10	<10	<10	5090	<200	<200	<100	620
Medel			<55	<35	<10	<10	<10	<140	<100	<100	<100	<414
Median			<50	<10	<10	<10	<10	<100	<100	<100	<100	<45

4.7 Perfluorerade ämnen

Mätresultat över perfluorerade ämnen presenteras i Tabell 12.

Perfluorerade ämnen har mätts i 53 provpunkter varav två prov är från vattendrag. För perfluorerade ämnen saknas bedömningsgrunder (SGU, 2013) och alla prov över rapporteringsgräns har blekt färgmarkerats i Tabell 12 (med halter under 100 ng/l blekt gult, över 100 men under 1000 orange och över 1000 rött). Tabellen visar att perfluorerade ämnen har rapporterats i drygt 50 % proven.

Perfluorerade ämnen är persistenta, toxiska och bioackumulerande vilket gör dem problematiska i miljön. Dessutom är de mer vattenlösliga än många andra organiska miljögifter vilket gör dem mer benägna att transporteras med vatten, t.ex. med grundvattenflöde. Perfluorerade ämnen kan också i viss utsträckning bindas till partiklar och jord. Adsorptionen beror på egenskaperna i marken, som pH, jonstyrka och halt organiskt kol, men också på de olika ämnenas hydrofobicitet och elektrostatiske egenskaper. Lövgren (2012) undersökte möjligheten att förklara halter av och koncentrationsförhållanden mellan olika perfluorerade ämnen i Stockholms grundvatten med statistiska analyser av samband med pH, konduktivitet, organiskt kol etc och ämnenas egenskaper, utan att finna några sådana samband i proven. En slutsats Lövgren drog var att punktkällor har större inflytande på halter av perfluorerade ämnen än adsorptions och nedbrytningsprocesser i marken.

En del perfluorerade ämnen bryts ned långsamt eller inte alls medan andra omvandlas till persistenta ämnen i naturen, som t.ex. perfluoroktansulfonat (PFOS) och perfluoroktansyra (PFOA). PFOS har aldrig tillverkats i Sverige men så sent som 2010 importerades cirka 200 kilo PFOS för användning inom metallindustrin (källa produktregistret). PFOS eller ämnen som kan brytas ner till PFOS eller liknande ämnen importeras också via varor, t.ex. mattor, fritidskläder och förpackningar producerade i Asien, trots att användningen av PFOS är hårt reglerad. I Stockholmskonventionen är PFOS och PFOS-relaterade ämnen listade som POPs-ämnen (Persistent Organic Pollutants) sedan år 2010 och inom EU är användningen begränsad sedan 2006. Ofta har PFOS ersatts av andra ännu inte begränsade fluorerade ämnen, som PFOA och fluortelomerer (UNIDO m.fl., 2012), t.ex. i impregnerade textilier, lädervaror, papper och livsmedelsförpackningar, rengöringsmedel, golvpolsk, vaxer/skidvallor och bilvårdsprodukter. Ämnena finns även i produkter som används i verkstads- och elektronikindustrin, som t.ex. hydrauloljor inom flygindustrin. Det är förmågan att bilda släta, vatten-, fett- och smutsavvisande ytor som ofta är skälet till att de har använts/används och ofta handlar det om låga halter. Eftersom ämnena finns i många produkter kan det ändå handla om stora mängder. (KemIs ämnesinformation, 2013).

En källa till perfluorerade ämnen i grundvatten som uppmärksammats särskilt är användning i brandsläckningsmedel. Import av PFOS-innehållande brandsläckningsskum upphörde 2003 (KemI, 2006). Ett flertal olika perfluorerade ämnen har ingått i brandsläckningsskum av typen AFFF (Aqueous Film Forming Foam) som använts från 1960-talet fram till för några år sedan. På Bromma flygplats brandövningsplats förbjöds användningen 2008 men först 2011 sanerades all utrustning och rester kan därför ha funnits kvar och spridits fram till dess (Fogelberg m.fl. 2013). En helikopterplatta vid Södersjukhuset är en annan känd plats i Stockholm där perfluorerade ämnen spridits, p.g.a. använd-

ning av sådana brandsläckningsmedel. Även på andra ställen i kommunen kan perfluorerade ämnen ha spridits p.g.a. sådan användning. De platser som inventerats av Länsstyrelsen (Svanberg 2008) är, utöver Bromma flygplats, en brandövningsplats i Värtan, Hägerstens brandstation och civilförsvarets brandövningsplats i Kristineberg. Ingen av områdena har riskklassats av länsstyrelsen men alla utom den i Värtan har angetts som fortfarande i drift 2008 (Svanberg 2008, bilaga). Huruvida perfluorerade ämnen spridits från dessa verksamheter är oklart. Verksamheten vid Bromma flygplats ligger sannolikt uppströms Provtagningspunkten 7c som kan ha påverkats. Verksamheten i Hägersten (Bäckvägen 1) kan ha påverkat provpunkt 19d. Däremot bör inte verksamheten i Värtan (mellan Husarviken och Gasverksvägen) eller den i Kristineberg ha påverkat någon provtagningspunkt eftersom provpunkter saknats i dessa områden. Ingen av provpunkterna som kan ha påverkats av dessa kända brandsläckningsverksamheter hör till de med högst halter PFOS.

En undersökning av perfluorerade ämnen i mark och grundvatten vid Bromma flygplats (Fogelberg m.fl. 2013) har visat grundvattenhalter på upp till 1 356 ng/l PFHxS, 6 560 ng/l PFOS, 1 280 ng/l PFHxA och 2 510 ng/l PFOA, alltså upp till 200 gånger högre halter än vad som uppmättes i grundvattenproven nedströms Bromma flygplats (7c) i nuvarande undersökning. Undersökningar av perfluorerade ämnen i grundvatten har också utförts i två grannkommuner till Stockholm; Sollentuna och Järfälla. I Järfälla undersöktes områden som kunde tänkas ha påverkats av Barkarby brandövningsområde (Struktur, 2011). PFOA-halter på upp till 1500 000 ng/l och PFOS-halter på upp till 380 000 ng/l uppmättes, vilket är fyra respektive tre tiopotenser högre än de som presenteras i Tabell 12, och också betydligt högre än de som uppmättes vid Bromma Flygplats av Fogelberg m.fl. (2013). I Sollentuna har vatten provtagits i Stockholmsåsen, med syftet att bevaka kvalitén i åsen (Sollentuna kommun 2012). Halter som uppmättes där var 10-20 ng/l PFOS och 4 ng/l PFOA, vilket är låga halter i förhållande till de som presenteras i Tabell 12.

I provpunkt 7c och möjligtvis i provpunkt 9, kan det finnas ett grundvattenflöde från Bromma flygplats och i 19d från Hägerstens brandstation. För övriga provpunkter finns ingen känd specifik användning som kan förklara innehållet i grundvattnet. Det kan handla om diffusa källor från blandad användning och atmosfäriskt nedfall eller okända verksamheter och spill/läckage. Vägen ämnena når grundvattnet kan vara de hamnat på mark och därifrån följt vattenflödet eller att de läckt från avlopps- eller dagvattensystem. De relativt höga halter perfluorerade ämnen som uppmätts i provpunkt 45, vid Engelbrektsplan, kan vara skäl till mer kartläggning av källor kring den provpunkten.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

I augusti 2010 tog Fried (2013) fem grundvattenprov för analys av perfluorerade ämnen och fann halter över rapporteringsgräns i fyra av dessa. Vid undersökningen 2011/2012 provtogs dessa fem provpunkter igen. Samma labb analyserade proven med samma rapporteringsgränser som för proven 2010. Fried (2013) fann halter över rapporteringsgräns i provpunkterna 9, 10, 33 och 48b men under rapporteringsgräns i provpunkt 20. Av dessa var det bara provpunkt 9 som 2011/2012 hade halter över rapporteringsgräns. Halterna 2010 var i samtliga fall högre 2010 än 2011/2012.

För att ytterligare få information om hur halterna kan variera med tiden (eventuellt med årstid) togs prov från en provpunkt (15b) både den 15 december 2011 och den 4 maj 2012. I decemberprovet fanns PFOS men i majprovet fanns inga av de analyserade perfluorerade ämnena över rapporteringsgräns.

Utifrån dessa provresultat skulle man kunna dra slutsatsen att det finns en tydlig trend mot lägre halter perfluorerade ämnen med tiden. Enskilda stickprov bör emellertid inte ges så stor betydelse, utan fler prov borde tas olika årstider och flera år för att slutsatser om trender ska kunna dras.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Ett prov där halter över rapporteringsgräns uppmätts är ytvattendraget Flatendiket, 37d. I grundvattenröret (37c) uppströms den provtagningspunkten fanns inga halter perfluorerade ämnen över rapporteringsgräns. Vattendraget har stort inslag av dagvatten från dammen vid Orhemsvägen/Flatenvägen, som mottar trafikdagvatten från Tyresövägen. Om trafiken är en källa eller om det finns andra verksamheter som spridit perfluorerade ämnen i vattendragets tillrinningsområde är oklart.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Halterna av PFOS och PFOA är i flera fall högre i grundvattnet än i Stockholms ytvatten, där man på tre platser (i Saltsjön, Drevviken och Årstaviken) uppmätt PFOS-halter om 3-15 ng/l och PFOA-halter om 1-5 ng/l (Miljöförvaltningen, opublicerade data från 2012-13). Halter i ytvatten som uppmätts inom den nationella övervakningen (Woldegiorgis m.fl. 2006) har visat halter under rapporteringsgräns för PFHxA, PFDcA och PFDS. Högsta halter som uppmättes i Stockholms ytvatten i samma undersökning var för PFBS 0,47 ng/l, PFHxS 1,90 ng/l, PFOS 13 ng/l, PFHpA 0,95 ng/l, PFOA 3 ng/l, PFNA 2,1ng/l och PFOA 0,14 ng/l. I den undersökningen provtogs ytvatten i Årstaviken, vid Stora Essingen och i Riddarfjärden. I grundvattenundersökningen har rapporteringsgränsen varit högre (ca 150 ggr) än miljökvalitetsnormen för inlandsytvatten, där årligt medelvärde (AA-MKN, Direktiv 2013/39/EU) är 0,65 ng/l.

Lokala kända punktkällor som undersökts är bl.a. tidigare verksamhet på Bromma flygplats brandövningsområden. Där har man spridit perfluorerade ämnen till mark och grundvatten (Holmström m.fl., 2013 och Fogelberg m. fl., 2013) och höga halter har uppmätts både i dag- och grundvatten. Dagvattnet från Bromma flygplats består delvis av dräneringsvatten från omkringliggande mark, vilket kan förklara innehållet av perfluorerade ämnen. Dagvattnet har sitt utlopp i Bällstaviken (Fogelberg m. fl., 2013). Även Bällstaviken har förhöjda halter, men det har också Bällstaån, uppströms Bällstaviken. Av dessa ytvatten är det endast Bällstaviken som ligger nedströms just punktkällan Bromma flygplats. Till bägge ytvattnen finns emellertid gott om dagvattenutsläppspunkter och bräddavlopp, som kan bidra med föroreningar. Lillsjön och Ulvsundasjön hade i Fogelbergs m.fl (2013) undersökning mer jämförbara halter med andra ytvatten, vilket de förklarade med att dessa ytvatten har större vattenutbyte med övriga Mälaren.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Inga data över halter av perfluorerade ämnen i inkommande avloppsvatten till avloppsreningssantern har hittats i referenserna beskrivna i kapitel 3.5.

Grundvatten i Stockholm

Resultat

Lufthalter som uppmätts i Stockholm har dominerats av PFOA (13pg/m^3), PFOS (4pg/m^3) och PFOSA (4pg/m^3), vilket var högre än vid bakgrundsstationerna enligt Woldegiorgis m.fl. (2006). Det innebär att dagvatten bör innehålla en del perfluorerade ämnen. Halter i dagvatten som uppmätts i Stockholm (Henriksson 2011) har varierat mellan 2 och 76 ng/l (PFOA) och 3 och 96 ng/l (PFOS), där halterna generellt var högre i prov från centrala delar av staden (Gamla Brogatan, Hamngatan och Medborgarplatsen) än i trafikdagvatten (Årsta, Örby och Hammarby) och bostadsområden (Mälarhöjden, samt från andra kommuner; Täby och Huddinge). Dessa halter i dagvatten är generellt jämförbara med halterna som uppmätts i grundvatten i denna undersökning, även om det inte är uppenbart högre halter i grundvatten i centrala delar av staden.

4.8 Tennorganiska ämnen

Mätresultat över tennorganiska ämnen presenteras i Tabell 13.

Ofta nämns källan till tennorganiska föreningar vara användningen i båtottenfärg – sedan ett par decennier förbjuden – men eftersom dessa ämnen finns i dagvatten och på andra ställen långt från båthamnar kan det vara intressant att också undersöka förekomst i grundvatten. Tennorganiska föreningar är liksom många andra organiska miljögifter starkt partikelbundna och hade inte förväntats i högre halter i grundvatten.

Tributyltennföreningar är en ämnesgrupp på vattendirektivets lista över prioriterade farliga ämnen (Direktiv 2013/39/EU), som ska fasas ut och för vilka det finns miljökvalitetsnormer för ytvatten. För årligt medelvärde (AA-MKN, inlandsytvatten, Direktiv 2013/39/EU) är halten 0,2 ng/l, vilket är lägre än undersökningens rapporteringsgräns och också lägre än vad som fås vid de vanliga kemiska analysmetoder som de kommersiella labben erbjuder. Rapporteringsgränsen har ändå varit låg jämfört med många andra ämnens (1 ng/l), men särskilt tributyltennföreningar bedöms så giftiga att även halter vid den nivån är allvarliga.

Tennorganiska ämnen (främst butyl- och oktylformerna) används än idag som tillsats i olika plastmaterial, som stabilisator i hård PVC eller som katalysator vid polyuretan-, silikon- och gummitillverkning. Även om former med en eller två tenngrupper är vanligast i den tillämpningen används även tri-formen och den kan också förekomma som förorening i dessa sammanhang. Tennorganiska föreningar används också som biocider, t.ex. för att förhindra mögelsvamp i textilier och färg eller som antibakteriella medel. Användningen i Sverige av tennorganiska föreningar har förskjutits från butyl- till mindre toxiska oktylvarianter (KemIs produktregister, 2013), men varken mono- eller dioktyltenn syns i grundvattenproven.

Tjugo prov har analyserats på tennorganiska föreningar (Tabell 13). Mono-, di- och tributyltenn har upptäckts i flera prov, monobutyltenn i alla analyserade prov. Tributyltenn bryts ner till de mindre toxiska di- och mono-formerna och det kan vara ett skäl till att monobutyltenn är den form som oftast syns i grundvattenproven. För grundvatten saknas bedömningsgrunder (SGU, 2013) och det finns få undersökningar av tennorganiska föreningar i grundvatten. I och med att bedömningsgrunder saknas för tennorganiska föreningar i grundvatten har alla prov med rapporterad halt blekt färgmarkerats i Tabell 13.

Tributyltenn fanns i högst halter i en provpunkt (44b) bland gator och tät bostadsbebyggelse på Östermalm, långt från en båthamn, men också i provet från Stallmästargårdens båtklubb (51), där källan sannolikt är just (den tidigare) användningen i båtottenfärg. Källan till tributyltenn i provpunkt 44b är okänd och det kan vara intressant att undersöka möjliga källor i området ytterligare. Med den kunskap som finns går det inte att utesluta att ämnet kan finnas i t.ex. plastmaterialet i röret.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Tennorganiska föreningar analyserades inte på några prov tagna i december varför ingen jämförelse kan göras. Ämnesgruppen har heller inte analyserats vid miljöförvaltningens tidigare grundvattenundersökningar.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Inga prov för tennorganiska föreningar togs i vattendragen Flatendiket och Sättraån vilket gör att det inte går att jämföra halter.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Prov tas normalt inte på vatten eftersom tennorganiska föreningar har låg löslighet och därför snarare förekommer i sediment.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Halter av tennorganiska föreningar som uppmätts i grundvatten är i samma storleksordning men något högre än dem som uppmätts av Pettersson och Wahlberg (2010) i avloppsvatten. De uppmätte halter av monobutyltenn (8 ng/l från Henriksdals reningsverks inlopp och 12 ng/l från Brommas) och dibutyltenn (7ng/l från Henriksdals och 5 ng/l från Brommas) men under 1ng/l av tributyltenn.

I dagvatten har halter av TBT uppmätts (Larm, 2012). 1,2 till 300 ng/l, där de högre halterna bedöms relevanta i huvudsak för industriområden och områden med avfallsanläggningar. Brist på data från Stockholms dagvatten för samtliga tennorganiska föreningar gör det svårt att jämföra halter.

4.9 Ftalater

Mätresultat över ftalater presenteras i Tabell 14.

Inga bedömningsgrunder finns för halter av ftalater i grundvatten (SGU, 2013) och alla prov med halter över rapporteringsgräns har blekt färgmarkerats i Tabell 14. För ftalater har rapporteringsgränsen varit hög (0,5 µg/l eller högre). Ändå har fyra av tio analyserade ftalater uppmätts över rapporteringsgräns (Tabell 14). Åtta prov av 60 innehåller minst en ftalat. Den vanligast förekommande ftalaten är di-(2-etylhexyl)ftalat (DEHP), ett ämne som finns med på vattendirektivets (direktiv 2013/39/EU) lista över prioriterat farliga ämnen, med miljökvalitetsnormen 1,3 µg/l som medelvärde på årsnivå (AA-MKN). Fyra av grundvattenproven har DEHP halter över den nivån. Det kan inte uteslutas att orsaken är förorening (kontamination) från rörmaterial, utrustning för provtagning eller labb, men eftersom provtagningsutrustningen och analysmetoden var densamma för proven med högre halter som för de med halter under rapporteringsgräns, verkar det osannolikt. Det verkar också ganska osannolikt att ämnet kommer från plastmaterialet i rören, eftersom materialet i rören är av typen hårdplast, vilket innebär att mjukgörare inte bör förekomma, och vattnet omsätts direkt innan provtagningen, vilket gör det osannolikt att höga halter skulle uppstå. Den provpunkt som har högst halt är 44b, samma provpunkt på Östermalm som också hade högst halt tributyltenn. Orsaken till att just den provpunkten har högre halter av dessa ämnen är oklar, vilket innebär att möjliga källor bör undersökas ytterligare.

Det har skett utfasning av DEHP genom förbud och frivillig substitution vilket kan ha lett till att halterna i miljön minskat. DEHP förekommer dock fortfarande, särskilt i PVC produkter. Ftalater används som mjukgörare i plast och färg i höga halter, ofta upp till 35 % av materialvikten, t.ex. i kablar, skosulor, plastslangar, färg för plåt, plastad textil och presenning. Björklund (2010) har beräknat fordon och plastbelagd plåt som huvudkällor för ftalater till dagvatten. Eftersom ftalaterna ofta binds svagt till materialet avgår de när materialen åldras, vilket sker särskilt snabbt vid utomhusexponering. Ftalaterna binds gärna till partiklar vilket gör att de sannolikt också transporteras så i mark och vatten.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Tre provpunkter provtogs både vintern 2011 och våren 2012. Inget av dessa prov hade halter över rapporteringsgräns.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Inga ftalater kunde identifieras över rapporteringsgräns i något av yt- respektive grundvattenproven vid Flatendiket och Sättraån.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Ftalater analyseras vanligtvis inte i ytvatten eftersom ämnena binds till partiklar och därför är enklare att analysera i sediment. Data från Stockholms sjöar saknas.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

DEHP-halter i urbana dagvatten från Göteborg och Stockholm uppmätta av Björklund (2009) var i storleksordningen <1-5 µg/l, vilket är i samma storleksordning som uppmätts i grundvatten i denna undersökning. Paxeus (1999) har rapporterat halter i avloppsvatten

Grundvatten i Stockholm

Resultat

om 8-50 µg/l, och Pettersson och Wahlberg (2010, bilaga B) har rapporterat halter mellan <1 till 10 µg/l. Både läckage från dagvatten- och avloppsledningar är därför möjliga källor till ftalater i grundvattnet.

Tabell 14. Ftalater. Bedömningsgrunder saknas. Alla prov över rapporteringsgräns är färgmarkerade.

Nr (se Figur 1)	Provpunktsnamn	Provtagningsdatum	dimetyl-ftalat	dietyl-ftalat	di-n-propyl-ftalat	di-n-butyl-ftalat	di-isobutyl-ftalat	di-pentyl-ftalat	di-n-oktyl-ftalat	di-(2-etylhexyl)-ftalat (DEHP)	butyl-bensyl-ftalat	di-cyklohexyl-ftalat
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1a	Kista-åsinlag	2011-11-25	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
1c	Akalla	2012-06-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
3	(54)Spånga torg	2011-11-26	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
4	(30)Johannelundstoppen	2011-11-26	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
5b	Kyrksjön	2012-05-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
5c	Judarn	2011-12-20	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
6	(55)Beckomberga	2012-05-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
7c	Bällstaviken	2012-05-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
8b	Bällstaån	2011-12-20	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
9	(10 C) Ulvsunda	2011-11-28	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
9	(10 C) Ulvsunda	2012-05-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
13	Hässelby strandbad	2012-05-05	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	1,6	<0,6	<0,6
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-16	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
15c	Kungsholmen N	2011-12-16	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
18	Bredäng	2011-12-16	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	1,2	2,44	<0,6	<0,6	<0,6	0,81	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
21	(57) Stureby	2012-05-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
23	Sätrabadet	2012-05-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
24	Långsjön	2012-05-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
27	(23) Gubbängen	2012-05-04	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
29	Tallkrogen/Olympiav	2011-11-25	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
31	(50)Skrubba	2011-12-12	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
32	(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	0,63	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
32b	Björkhagen	2012-06-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,9	<0,6	<0,6
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	1,4	<0,6	<0,6
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
39b	Fagersjövik	2012-05-04	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
40a	Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	2,7	<0,6	<0,6
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,7	<0,6	<0,6
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
42f	Franska bukten	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
44	(16A) Åsen Norrmalm	2011-12-05	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
44b	Östermalm	2012-06-09	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	8,5	<0,6	<0,6
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
45	(19) Engelbrektsplan	2011-12-05	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
45d	Vasastan N/Upplandsgr	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
47a	(9A) Värtahamnen	2011-12-05	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
48b	(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<1,3	<0,6	<0,6
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,7	<0,6	<0,6
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
Min			<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6
Max			1,2	2,44	<0,6	<0,6	<0,6	0,81	<0,6	8,5	<0,6	<0,6
Medel			<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,7	<0,6	<1	<0,6	<0,6
Median			<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6

4.10 Bekämpningsmedel och nedbrytningsprodukter

Mätresultat över bekämpningsmedel och nedbrytningsprodukter (metaboliter) presenteras i Tabell 15.

Bekämpningsmedel används och har använts för att förebygga eller motverka att djur, växter eller mikroorganismer förorsakar skada eller olägenhet för människors hälsa eller skada på egendom. Kemikalieinspektionen måste godkänna alla bekämpningsmedel innan de får säljas i Sverige. De bekämpningsmedel som analyserats i nuvarande studie är sådana som analyserats tidigare i Stockholm och som kan förväntas vara ett resultat av användning i t.ex. trädgårdar, på idrottsplatser, golfbanor, banvallar, vägrenar och hårdgjorda ytor. Eftersom stadens egna verksamheter har haft en inriktning att inte använda ogräsmedel utan istället bekämpa ogräset mekaniskt valdes att analysera relativt få prov på få ämnen inom gruppen (Tabell 15). Ingen av dessa bekämpningsmedel finns med på Vattendirektivets lista över prioriterade ämnen (direktiv2013/39/EU), men det finns bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013) och föreskrifter (SGU-FS 2008:2), där summan av bekämpningsmedel och metaboliter inte ska överskrida riktvärdet 0,5 µg/l.

BAM (2,6-diklorbensamid) är en nedbrytningsprodukt av ett ämne (diklobenil eller 2,6-diklorbensnitril) som ingått i olika Totex-preparat för ogräsbekämpning, produkter som inte varit tillåtna sedan slutet av 1980-talet. Ämnet bryts ner mycket långsamt och är det i ämnesgruppen som hittas oftast vid analys av råvatten vid vattentäkter i Sverige. I nuvarande undersökning hittades BAM i höga eller mycket höga halter i sex av 50 prov. Rapporteringsgränsen var hög så ingen information finns om halter under 0,05µg/l.

Glyfosat är ett aktivt ämne (N-(metylfosfit)glycin-salt) i bl.a. Roundup, som liksom Totex använts för växtbekämpning. Ämnet är fortfarande tillåtet, ca 600 ton/år har sålts i Sverige under 2000-talet (KemIs produktregister, 2013). Tio prov analyserades och inget av dessa innehöll glyfosat i halter över rapporteringsgränsen.

Glyfosat bryts ner i naturen till ett antal nedbrytningsprodukter varav AMPA (aminometylfosforsyra) är vanligast. AMPA analyserades i samma prov som glyfosat och fanns då i ett prov över rapporteringsgräns. För dessa ämnen var rapporteringsgränsen hög, motsvarande gränsen mellan måttlig och hög halt. Att ingen glyfosat men AMPA hittades kan eventuellt förklaras med att man inte längre använder glyfosat och att AMPA visar gammal användning. En annan förklaring kan vara att ämnet inte är tillräckligt rörligt i mark för att följa med grundvattenflödet. En tredje möjlig förklaring kan vara att nedbrytningen sker så snabbt att Stockholms grundvatten sällan innehåller glyfosat då det brutits ner till AMPA på vägen dit. Alltför få prov har analyserats för att ge något bra underlag.

Totalt sett fanns de analyserade ämnena i 13 % av proven. Eftersom få ämnen analyserats ger en summering långt ifrån en fullständig bild. Beräknas summan av BAM och AMPA är det sju prov av femton (nästan 50%) där man med säkerhet kan säga att summan överskrider haltgränsen för tillståndsklass 4 (hög halt), enligt bedömningsgrunderna (SGU, 2013). För resterande prov har bara BAM eller glyfosat/AMPA analyserats vilket gör att det inte går att säga om summahalten hade överskridit haltgränsen 0,05µg/l eller inte. Fler analyser och lägre rapporteringsgräns hade gett en säkrare beräkning.

Den provpunkt som hade högst halter av de analyserade bekämpningsmedlen/metaboliterna är 28a, provet från en brunn i Skogskyrkogården. Det är troligt att man

använt bekämpningsmedel på Skogskyrkogården, åtminstone innan man antog inriktningen att inte använda bekämpningsmedel i stadens verksamheter. Användningen är särskilt olämplig på platser med åsmaterial, eftersom ämnena där lättare kan transporteras ner till och i grundvattenzonen utan att nedbrytning hinner ske. De översiktliga grundvattenflödeskarteringar som SGU gjort visar att provpunkt 28c, som också har mycket hög halt BAM, inte bör få sitt vatten från Skogskyrkogården, även om dessa provpunkter ligger relativt nära varandra. Provpunkt 47a vid Värtahamnen hade också hög halt av BAM. Provpunkten ligger i ett före detta industriområde med parkeringsplatser och hårdgjord mark, där man kan tänka sig att man använt bekämpningsmedel för att slippa ogräs. Orsaken till påträffade halter är användning både i trädgårdar och på hårdgjord mark.

Jämförelse mellan olika tidpunkter – vinter och vår

Endast en provpunkt (21) provtogs både vinter 2011 och vår 2012, och bara på BAM som hade en halt under rapporteringsgräns. Det går därför inte att säga så mycket om skillnader vid dessa två provtagningar.

Jämförelse med Flatendiket och Sättraån

Halterna av BAM var under rapporteringsgräns både i proven från vattendragen och från grundvattenrören vid Flatendiket respektive Sättraån. BAM var den enda parametern som undersöktes i bägge typen av prov.

Jämförelse med Stockholms ytvatten

Inga data över dessa bekämpningsmedel i Stockholms ytvatten har påträffats.

Jämförelse med avlopps- och dagvatten

Inga data över halter i avloppsvatten eller dagvatten av dessa bekämpningsmedel har påträffats i de referenser som finns beskrivna i kapitel 3.5.

Tabell 15. Bekämpningsmedel och metaboliter. na = "not analysed", analys saknas.

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	BAM	glyfosat	AMPA	Summa bekämpningsmedel/metaboliter
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
4	(30) Johannelundstoppen	2012-05-05	<0,05	na	na	na
5b	Kyrksjön	2012-05-06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
5c	Judarn	2011-12-20	<0,05	na	na	na
7c	Bällstaviken	2012-05-06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
8b	Bällstaån	2011-12-20	<0,05	na	na	na
9	(10 C) Ulvsunda	2011-11-28	<0,05	na	na	na
9	(10 C) Ulvsunda	2012-05-06	na	<0,05	0,085	0,085
10	(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	<0,05	na	na	na
10c	Äppelvik	2012-01-11	0,066	na	na	0,066
10d	Stora mossens koloni omr	2012-05-06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
11	(52)Räcksta träsk	2011-12-15	<0,05	na	na	na
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	<0,05	na	na	na
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20	<0,05	na	na	na
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	<0,05	na	na	na
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-16	<0,05	na	na	na
17	(39)Vinterviken	2011-12-09	<0,05	na	na	na
18	Bredäng	2011-12-16	<0,05	na	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07	<0,05	na	na	na
20	(73)Älvsjömassan	2011-12-12	<0,05	na	na	na
21	(57) Stureby	2011-12-12	<0,05	na	na	na
21	(57) Stureby	2012-05-07	<0,05	na	na	na
23	Sätrabadet	2012-05-07	<0,05	na	na	na
23b	Sätraån (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,05	na	na	na
24	Långsjön	2012-05-07	<0,05	na	na	na
27	(23) Gubbängen	2012-05-04	<0,05	na	na	na
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	0,555	na	na	0,555
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	0,143	na	na	0,143
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	na	<0,05	<0,05	na
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	<0,05	na	na	na
31	(50)Skrubba	2011-12-12	<0,05	na	na	na
32	(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	<0,05	na	na	na
32b	Björkhagen	2012-06-07	<0,05	na	na	na
33	(43)Enskede gård	2011-12-14	<0,05	na	na	na
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	0,057	na	na	0,057
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07	<0,05	na	na	na
37b	Sköndal/Spetekakev	2012-01-11	<0,05	na	na	na
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	<0,05	na	na	na
39b	Fagersjövik	2012-01-11	<0,05	na	na	na
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	<0,05	na	na	na
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12	<0,05	na	na	na
42f	Franska bukten	2012-05-03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03	<0,05	na	na	na
45	(19) Engelbrektsplan	2012-05-03	<0,05	na	na	na
45d	Vasastan N/Upplandsg	2012-05-03	<0,05	na	na	na
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	0,085	na	na	0,085
46b	N Djurgården	2011-12-05	<0,05	na	na	na
47a	(9A) Värtahamnen	2011-12-05	0,348	na	na	0,348
48b	(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	<0,05	na	na	na
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
Tillståndsklass 5 enligt SGU (2013) = mycket hög halt			0,1	0,1	0,1	0,5
Tillståndsklass 4 enligt SGU (2013) = hög halt			0,05	0,05	0,05	0,05
Tillståndsklass 3 enligt SGU (2013) = måttlig halt			0,025	0,025	0,025	
Min			<0,05	<0,05	<0,05	<0,15
Max			0,555	<0,05	0,085	0,555
Medel			<0,08	<0,05	<0,06	<0,4
Median			<0,05	<0,05	<0,05	<0,15

5 JÄMFÖRELSE MELLAN STOCKHOLMS TRE GRUNDVATTENUNDERSÖKNINGAR

I medeltal har grundvattennivån i undersökningen från 2011/2012 legat knappt 10 cm lägre än 2003/2004 (Tabell 4), vilket inte är så anmärkningsvärt mycket. I rapporten för provtagningen 2003/2004 kommenterades att nivåerna var låga vilket kan tyda på att bägge dessa undersökningar genomförts tidpunkter med låga grundvattennivåer. Hur nivån påverkat kvalitén är inte helt lätt att säga, men lägre nivåer kan innebära högre halter av ämnen som frigörs vid vittrings- och jonbytesprocesser om låg nivå kan kopplas till låg omsättningstid.

En del kemiska parametrar som mätts 2011/2012 har också mätts vid Miljöförvaltningens tidigare grundvattenundersökningar (med provtagning år 1996-1997 respektive 2003/2004). För att om möjligt dra slutsatser om trender gavs konsultbolaget Niras i uppdrag att göra statistiska analyser av datamaterialet från alla tre undersökningarna. I uppdraget ingick också att kvalitetssäkra mätdata, vilket i detta fall innebar att det gjordes en jonbalansberäkning. Niras rapport finns som Bilaga 2 till den här rapporten, men här i kapitel 5.1, 5.2 och 5.3 beskrivs de huvudsakliga slutsatserna. I kapitel 5.4 görs en enklare kompletterande analys, där alla provpunkter tas med från undersökningen 1996/1997 och 2011/2012, de två undersökningar då ett mer jämförbart antal prov tagits.

5.1 Kvalitetsgranskning av data

Jonbalansberäkningen visar om något prov har orimlig sammansättning av olika joner, med utgångspunkt i att antalet positiva och negativa jonladdningar måste vara lika i ett och samma prov. Fel kan uppstå t.ex. om det skett kemiska reaktioner, som utfällning av metaller i provflaskan innan kemisk analys, om det varit fel på analysinstrument eller om manuella fel uppstått, som att någon matat in fel siffra eller enhet för något provresultat. Niras metod för jonbalans byggde på datamaterialet som finns i Tabell 4, Tabell 6 och Tabell 8, och motsvarande data från övriga undersökningar. I jonbalansberäkningen ingick alltså inte data för organiska ämnen. Ämnen som påverkar jonbalansen mest är de som har hög halt, där jonen har högt laddningstal och lågt masstal. Ett fel i kloridhalten får en betydligt större effekt än ett fel i bariumhalten. Det gör också att det fortfarande går att göra en jonbalansberäkning trots att inte alla ämnen analyserats, om det är ämnen som vanligtvis inte påverkar så mycket som saknas. Flera sådana ämnen saknades t.ex. för 2003/2004 års undersökning (se vidare Bilaga 2).

Jonbalansberäkningen visade att det för 2011/2012 års undersökning fanns alltför stor avvikelse mellan positiva och negativa joner i proven från Beckomberga och Skansen. Orsaken till avvikelsen är okänd. Det kan ha skett fel på labb, förändringar mellan provtagning och analys eller så var vattnet inte homogent mellan olika provtagningsflaskor, t.ex. vad gäller mängd partiklar och därmed partikelbundna ämnen. För tidigare års undersökningar fanns också något eller ett par prov som visade större fel, vilket gjorde att man bedömde att det fanns för stor osäkerhet för att dessa skulle kunna användas i en statistisk analys av skillnader mellan åren. I tio prov från 1997 års undersökning bedömdes manganhalten orimligt hög. Där bedömdes det troligt att enheten blivit felaktigt noterad på labb, vilket korrigerades innan vidare statistisk analys.

5.2 Samband och avvikande data inom respektive undersökning

För att undersöka variation mellan olika prov och om det finns tecken på samband mellan olika provpunkter gjorde NIRAS en statistisk bearbetning av respektive undersöknings datamaterial. Eftersom provpunkterna är spridda över hela kommunen och även intilliggande provpunkter skiljer sig en hel del från varandra är det mindre troligt att man ser tydliga samband vid en sådan analys. Metoden NIRAS använde var principalkomponentanalys och dataunderlaget var ett urval av de parametrar som finns i Tabell 4, Tabell 6 och Tabell 8, och ett urval av motsvarande data från övriga undersökningar. Inga tydliga mönster som tyder på samband mellan olika provpunkter kunde urskiljas. Principalkomponentanalysen visade några provpunkter som urskiljde sig från övriga, som s.k. ”outliers”. Detta skulle kunna bero på att det på dessa platser finns någon lokal källa som påverkar. Ett fördjupat arbete skulle behövas för att identifiera sådana lokala källor, vilket är något som gäller i samtliga fall där hög halt har rapporterats för något ämne i grundvattenundersökningen. Prov som bedömdes som ”outliers” från undersökningen 2011/2012 var bl.a. 14a (Lövstatippen), 45 (Engelbredsplan), 42d (Gamla stan/Slussenprojektet) och 40e (Södermalm V-Långholmsgatan).

5.3 Statistiskt säkerställda haltskillnader mellan miljöförvaltningens tre grundvattenundersökningar

För att undersöka skillnader över tid, om halterna sjunkit eller stigit, använde NIRAS de olika dataseten från respektive undersökning för vidare statistisk beräkning. För pH och några av parametrarna listade i Tabell 6 och Tabell 8 användes bara data från prov som godkänts vid kvalitetsgranskningen och bara provpunkter som man återkommit till vid två eller fler undersökningar. Vid analysen sattes halter under rapporteringsgräns som halt vid rapporteringsgräns. Olika sätt används i olika studier, man kan räkna bort alla prov som har halter under rapporteringsgräns och inte använda dem i vidare beräkning, man kan räkna med att halten är noll eller räkna om halterna till halva rapporteringsgränsen för dessa prov eller så kan man göra som NIRAS valde, att använda rapporteringsgränsen som beräknad halt. Det finns för- och nackdelar med alla dessa alternativ. Nackdelar med valt alternativ är att halterna sannolikt överskattas för prov som har halt under rapporteringsgräns och att rapporteringsgränsen får extra stor betydelse när rapporteringsgränsen skiljer sig mellan olika prov eller data-set.

Statistiskt säkerställda skillnader – oorganiska ämnen och samma provpunkter

Få parametrar visade statistiskt säkerställda skillnader i halt mellan undersökningarna. För de ämnen där det fanns statistiskt säkerställda skillnader mellan åren var det nästan uteslutande lägre halter i prov från 2011/2012 jämfört med någon av de tidigare undersökningarna. Detta gäller aluminium, kobolt, krom, koppar, kvicksilver och bly (se även Tabell 16). För järn hade halterna ökat med tid, vid jämförelse mellan 1996/1997 års prover och dem från 2011/2012. De parametrar där det inte fanns någon statistiskt säkerställd skillnad var pH, alkalinitet, klorid, sulfat, nitratkväve, nitritkväve och ammoniumkväve. Inte heller syntes sådan skillnad för arsenik, kalcium, kadmium, kalium, magnesium, mangan, natrium eller nickel. För zink fanns inte någon signifikant skillnad mellan två

efterföljande undersökningar, men grafiskt ser det ändå ut som att halten minskat kontinuerligt.

Statistiskt säkerställda skillnader – organiska ämnen och samtliga provpunkter

Organiska miljögifter bedömdes ha analyserats med för olika rapporteringsgräns, eller för få prov över rapporteringsgräns för att det skulle vara relevant att göra en statistisk jämförelse mellan de olika undersökningarna, med undantag för PAHer och DEHP. I de fallen valdes att ta med alla prov som analyserats, och inte bara de från provpunkter där man återkommit eller sådana som klarat kvalitetsgranskningen (som ändå inte avsåg organiska ämnen).

För PAHer ansågs datamaterialet från 1996/1997 och 2011/2012 som möjligt att analysera. För PAHer visade sig halten 2011/2012 statistiskt säkerställt ha minskat jämfört med 1996/1997 års provtagning.

För DEHP användes datamaterialet från 2003/2004 och 2011/2012. För DEHP såg man ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan undersökningarnas resultat.

För DEHP var rapporteringsgränsen hög 2011 (1,3 µg/l) men relativt låg 2012 (0,5 µg/l) (Tabell 14). För undersökningen 2003/2004 angavs rapporteringsgränsen 1 µg/l, men även halter under 0,05 rapporterades och det är de rapporterade halterna som använts. Sex av provpunkterna har provtagits för DEHP-analys både vid undersökningen 2003/2004 och 2011/2012. En av dessa provpunkter (nr 31) hade en DEHP-halt om 4,3 µg/l 2003/2004 (Miljöförvaltningen 2006) och mindre än 1,3 µg/l 2011 (Tabell 14), vilket skulle kunna betyda att halten sjunkit (eller att man tidigare hade kontamination från utrustningen). För övriga fem provpunkter (nr 9, 10, 11 och 33) var halterna 2003/2004 mellan 0,05 och 1,2 µg/l, vilket är lägre än rapporteringsgränsen för dessa prov 2011/2012. Skillnaden i rapporteringsgräns gör att det inte går att avgöra om halterna var högre eller lägre 2011/2012 jämfört med 2003/2004.

5.4 Skillnad i medianhalt mellan undersökningen från 1996/1997 och den från 2011/2012

Niras jämförelse av oorganiska ämnen mellan de olika undersökningarna omfattade bara sådana provpunkter som använts vid mer än en undersökning. Eftersom det antalet inte varit så stort blir underlaget på det sättet begränsat. Om man istället kan utgå från att provpunkterna valts helt slumpmässigt och väljer undersökningar då antalet provpunkter varit relativt stort, bör man kunna jämföra medel eller medianhalter för alla prov från respektive undersökning istället för att bara ta med provpunkter med upprepade provtagning.

Det finns en nackdel med att jämföra halter utan att ta hänsyn till valet av provtagningspunkter om det inte stämmer att provpunkterna valts helt slumpmässigt. Om det var så att de mest förorenade platserna fanns med i undersökningen 1996/1997 men att dessa inte gick att återkomma till och att nya provpunkter i undersökningen från 2011/2012 var från mindre förorenade platser kommer det synas som en skenbar förbättring. För att i någon mån undvika det problemet kan medianhalter jämföras istället för medelhalter. Medianhalter påverkas mindre än medelhalter om ett fåtal prov har avvikande hög halt av något ämne.

Grundvatten i Stockholm

Jämförelse mellan Stockholms tre grundvattenundersökningar

Oorganiska ämnen

Jämförs medianhalter från undersökningarna 1996/1997 och 2011/2012, som hade ungefär lika många provtagningspunkter, har halten ändrats för ganska många parametrar (Tabell 16).

Tabell 16. Parametrar där medianhalten skiljt sig mellan nuvarande undersökning och undersökningen 1996/1997. Halter inom parentes är medianhalt 1996/1997 respektive (till) 2011/2012. Fetmarkerade parametrar är sådana där även NIRAS analys visade statistiskt säkerställda skillnader. Ämnen i kursiv text är sådana där medianhalt inte kunnat jämföras, men där NIRAS analys visat statistiskt säkerställd skillnad.

Parametrar där medianvärdet minskat	Parametrar där medianvärdet ökat
pH (7,5 till 7,1)	Klorid (61 till 77 mg/l)
Konduktivitet (66 till 63 mS/m)	Sulfat (50 till 60 mg/l)
Alkalinitet (352 till 310 mg/l)	Nitrat+ nitritkväve (25 till 187 µg/l)
Totalkväve (1,3 till 1,0 mg/l)	Ammoniumkväve (84 till 110 µg/l)
TOC (9,8 till 5,2 mg/l)	Totalfosfor (107 till 135 µg/l)
Kalcium (110 till 97 mg/l)	Järn (0,2 till 5 µg/l)
Magnesium (17 till 13 mg/l)	
Aluminium (12 till 1 µg/l)	
Arsenik (0,54 till 0,41 µg/l)	
Kadmium (0,052 till 0,024 µg/l)	
Kobolt (1,26 till 0,29 µg/l)	
Krom (0,80 till 0,07 µg/l)	
Koppar (8,6 till 2,0 µg/l)	
Nickel (7,1 till 1,7 µg/l)	
Bly 0,56 till 0,05 µg/l)	
Zink (30,7 till 4,4 µg/l)	
<i>(Kvicksilver (15,6 till <20ng/l))</i>	

Natrium och kalium visade oförändrade medianhalter. Kvicksilver (ofiltrerade prov) visade en medianhalt om 15,6 ng/l 1996/1997 och <20 ng/l 2011/2012, vilket innebär att det är inte går att avgöra om det skett en förändring.

Organiska ämnen

Inga organiska ämnen kan jämföras på motsvarande sätt som för oorganiska ämnen, för att rapporteringsgränsen skiljt sig för mycket eller för att dataunderlaget är för dåligt för att beräkna medianhalt. Det senare gäller även PAHer, även om Niras med den metodik som användes av dem kunde göra en jämförelse. Glyfosat och AMPA analyserades 2003/2004 i nio prov och fanns då inte i något prov över rapporteringsgräns, 0,1 µg/l. En av dessa provpunkter var den som i undersökningen 2011/2012 fått provpunktsnumret 9.

Grundvatten i Stockholm

Jämförelse mellan Stockholms tre grundvattenundersökningar

Det var den enda provpunkt där AMPA fanns över rapporteringsgräns 2011/2012; 0,085 µg /l uppmättes i maj 2012. Eftersom rapporteringsgränsen var högre än så 2003/2004 går det inte att säga något om skillnader mellan tidpunkterna.

Indikationer om att det skett en förbättring kan eventuellt fås på ytterligare förenklat sätt. BAM kan jämföras mellan undersökningen 1996/1997 och 2011/2012 genom att jämföra frekvensen av prov med halter över en viss halt. När BAM analyserades 1996/1997 påvisades halter i sju prov av 20 över påvisningsgränsen 0,03 µg/l. 2011/2012 fanns ämnet i sex av 50 prov över rapporteringsgränsen, som då var 0,05 µg/l, vilket bara är något högre än den påvisningsgräns som använts i tidigare undersökning. En provpunkt (33) analyserades vid bägge undersökningarna och hade 0,09 µg/l 1996/1997 respektive mindre än 0,05 µg/l 2011, vilket är en obetydlig skillnad med tanke på analysosäkerheten. Sammanlagt kan man kanske ändå tolka detta som att halterna av dessa ämnen minskat något sedan 1996/1997.

6 DISKUSSION

6.1 Provtagningspunkter

Möjligheten att dra slutsatser om halttrender minskar när ett stort antal rör skiljer sig mellan provtagningsstillfällena samtidigt som varje provtagningspunkt har sin unika kemiska sammansättning. Skenbara trender kan uppstå om man vid en undersökning råkar välja platser som är mer förorenade eller mindre än vid tidigare undersökningar och man jämför medel- eller medianhalter. Endast en (48 (8B)Hjorthagen/Tennishallen) av de mest förorenade platserna vad gäller tungmetaller i 1996/1997 års undersökning (tabell 10B i Miljöförvaltningen 1997) kunde provtas också 2011/2012, vilket kan förklara att medianhalterna har minskat när man jämför dessa två studier med varandra (Tabell 16). Niras metod är då bättre, eftersom bara provpunkter som provtagits vid flera tillfällen jämförs, även om det statistiska underlaget blir litet när få provpunkter återkommer.

De sammanlagt tio miljörör som satts i samband med miljöförvaltningens grundvattenkvalitetsundersökningar finns alla på platser där ingen exploatering var planerad. Detta för att om möjligt kunna behålla rören för framtida undersökningar, vilket är en fördel eftersom det är dyrt och omständligt att sätta rör. En effekt av detta är att de flesta miljörören är placerade där det inte heller är så mycket aktiviteter, och lokal kemisk påverkan kan då förväntas vara liten i jämförelse med mer tätbebyggda platser, vilket innebär att de enskilt inte utgör så bra representanter för att visa stadens grundvattenkvalitet.

Det vore en stor fördel om alla miljörör som sätts i samband med kontrollprogram, exploatering etc. fanns i en databas så att dessa också skulle kunna användas i stadens miljöövervakning. Ofta analyseras bara ett fåtal ämnen i grundvatten från ett rör. Genom att tillgängliggöra information om var rören finns och annan information om rören skulle mer data kunna fås eller tas fram betydligt enklare än vad som var fallet vid undersökningen 2011/2012. Exploateringskontoret håller på att ta fram en databas för att lagra geoinformation digitalt, och denna kan eventuellt i framtiden bli en bra informationskälla för liknande undersökningar.

Det visade sig vara stor brist på rör i åsen, vilket kan förklaras av att dessa miljöer inte är så känsliga för marksättningar att staden har satt nivåer där. Antagligen finns det betydligt fler rör, kanske också miljörör, som satts i samband med olika konsultstudier vid exploatering i anslutning till åsen. En större kartläggning av sådana rör behöver göras och eventuellt behöver nya rör sättas inför en mer specifik studie av grundkvaliteten i åsen.

6.2 Provhantering

Många grundvattenrör hade dålig tillströmning, vilket gjorde provtagningen tidskrävande. Förutom att detta ledde till ökade kostnader för undersökningen innebar det en försämring av kvaliteten. Provtagningen tog lång tid i sig och labbmottagningarna hade vid några tillfällen hunnit stänga när provtagningen avslutats. Ytterligare fördröjning orsakades av att de flesta analyserna på labb sker på annan plats än vid mottagningen, ofta skickas proven till andra delar av Sverige eller till andra länder för analys. Särskilt känsligt är det för flyktiga och syrekänsliga ämnen men också metaller som kan fastna på provtagnings-

flaskornas väggar när proven filtreras och syra tillsätts först på labb. När tiden från provtagning till analys dröjt kan det alltså ha påverkat halterna.

På vissa prover analyserade labben både filtrerat och ofiltrerat prov, utan att detta beställdes separat. Fosfor mättes av Eurofins på ofiltrerade prov, vilket beställts, men dessutom analyserades fosfor på filtrerade prov av ALS, som en del i paketet att analysera metaller. I flertalet prov analyserades också klorid, nitrat-, nitrit-, ammoniumkväve och fosfatfosfor både på filtrerat och ofiltrerat av Eurofins. Detta eftersom många prov var grumliga och personalen på labbet var orolig att skada analysutrustningen om halterna skulle visa sig vara högre än utrustningen var anpassad till. Skillnaden i halt vad gäller dessa ämnen var dock förvånansvärt liten.

Större skillnader fanns för kvicksilver, som är den enda metall som beställdes att analyseras i både filtrerat och ofiltrerat prov. Metaller binds ofta till partiklar och är dessa större än att de passerar filtret men ändå tillräckligt små för att följa med grundvattenflödet kan de transporteras till en ytvattenrecipient. Om syftet är att bedöma eventuell effekt på en ytvattenrecipient vore det därför att föredra om även ofiltrerade prov hade analyserats också för övriga metaller.

Vid provtagningen 1996/1997 filtrerades proven redan i fält innan metallanalys, vilket kan innebära en felkälla vid jämförelser mellan åren. Filtrering i fält innebär större risk för kontamination men mindre risk att provet förändras kemiskt mellan provtagning och analys. Analys av ofiltrerade prov innebär större osäkerhet i mätdata, eftersom mängden partiklar kan variera. Många organiska miljögifter liksom metaller är partikelbundna. Analys av suspenderat material eller turbiditet skulle därför vara en möjlig komplettering.

6.3 Rapporteringsgränser

Målet var att ha så låg rapporteringsgräns (se fotnot 2) att den inte skulle påverka möjligheten att jämföra resultaten med tidigare års undersökningar där man haft låg rapporteringsgräns. Tyvärr blev inte alltid provsvaren rapporterade enligt kraven i upphandlingen av labb-analyser och när det gäller bl.a. PAH-analyser var de så mycket dyrare (ca 4 gånger) att det inte ansågs försvarbart att välja labb som kunde ge lägre rapporteringsgräns. Utöver problem att jämföra undersökningarna med varandra är det ett problem när rapporteringsgränserna är så höga att det inte går att bedöma om halterna är över eller under miljökvalitetsnormer eller andra gräns- eller tröskelvärden. Bedömningsgrunder från SGU publicerades först 2013, vilket innebar att ingen anpassning av rapporteringsgränser till de halter som anges där gjorts. Ju mer bakgrundsdata desto säkrare kan man ställa krav vid upphandlingen av labb-analyser.

6.4 Grundvattennivåer

Även om krav ställs på att grundvattennivåer inte får sänkas i samband med undermarksbyggnation, var det uppenbart att det sker. Exploatering vid Norrtull hade gjort att rör som fanns där var helt torra. I områden med lera, vilket är mycket vanligt i Stockholm, leder grundvattennivåsänkning till att det uppstår sättningsskador (Figur 3). Sättningsskador skadar bl.a. ledningssystemen eftersom ledningsgatorna sällan är pålade eller på annat sätt säkrade mot sättningsskador. Skadade ledningar ger ökat läckage till grundvattnet.

Otäta tunnlar och ledningsgravar under grundvattennivån leder i sin tur bort grundvatten, vilket både minskar grundvattenmängden/sänker nivån och kan ändra på grundvattnets flödesriktning. Hårdgörandet av markyta och bortledande av dagvatten minskar möjligheten till nybildning av grundvatten.



Figur 3. Sättningskador vid Roslagstull/Norrtull juni 2012.

6.5 Grundvattenkvalitet

Grundvattnet i Stockholm ser ut att generellt ha bättre kvalitet än vid tidigare undersökningar. Ändå har 67 av 74 grundvattenprovpunkter (91 %) för minst en av parametrarna bara i Tabell 8, vid något av provtagningstillfällena 2011/2012 höga eller mycket höga halter i förhållande till bedömningsgrunder för grundvatten (alla utom 19c, 26c, 27, 28a, 41c, 42e, 43). Tas bara sådana ämnen som kan utgöra problem för en ytvattenrecipient med ser det bättre ut. Tabell 17 visar en sammanfattning av resultaten för de ämnen som kan ha viss relevans för eventuella ytvattenrecipienter eller på annat sätt kan vara skadliga. Fortfarande har mer än 80 % av provpunkterna vid något tillfälle höga eller mycket höga halter enligt bedömningsgrunder för grundvatten, alternativt något högre halter av minst ett ämne där bedömningsgrunder saknas.

De prov som tagits i åsen eller i anslutning till åsen är från provpunkterna 1a, 28a, 29, 30, 31, 33b, 41c, 42d, 42e, 42g, 43, 44, 45, 45d, 50 och 51. Dessa provpunkter är minst lika förorenade som övriga provpunkter. Ungefär hälften av provpunkterna skulle inte klara att uppnå god status, om de ansågs representera en del av åsen som vattenförekomst. För att uppnå god status ska halterna av ammoniumkväve, nitratkväve, arsenik, bly, kadmium, kvicksilver, bekämpningsmedel, 1,2-dikloretan, bensen, benso(a)pyren, kloroform, summa PAH4 och tri- och tetrakloreten inte överskrida haltgränsen för klass 5, vilket innebär att rödfärgade celler i tabellen inte är förenligt. För sulfat gäller 250mg/l, medan det för klorid och konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga) är det klass 4 som gäller.

Tabell 17. Sammanfattande tabell över haltnivåer av respektive ämnesgrupp. na="not analysed", analysresultat saknas.

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	Konduktivitet	Klorid	Nitrat-, nitrit-, ammonium-N eller fosfat-P	Escherichia coli	Tungmetaller	PAH	BTEX o Cl-/Br- alifater	Fenolära ämnen	Perfluorerede ämnen	Tennorganiska ämnen	Ftalater	Bekämpningsmedel
1	(32)Granolmen	2011-11-26				na		na	na	na	na	na	na	na
1a	Kista-åsinslag	2011-11-25				na		na	na	na	na	na	na	na
1c	Akalla	2012-06-07				na						na		na
3	(54)Spånga torg	2011-11-26				na		na			na	na		na
4	(30)Johannelundstoppen	2011-11-26				na		na	na	na	na	na		na
4	(30)Johannelundstoppen	2012-05-05				na						na	na	
5b	Kyrksjön	2011-11-26				na		na		na	na	na	na	na
5b	Kyrksjön	2012-05-06				na		na				na		
5c	Judarn	2011-12-20				na						na		
6	(55)Beckomberga	2011-11-26				na	Ni	na	na	na	na	na	na	na
6	(55)Beckomberga	2012-05-06										na		na
7c	Bällstaviken	2012-05-06												
8b	Bällstaån	2011-12-20				na			na			na		
9	(10 C)Ulvsunda	2011-11-28				na	Ni				na	na		
9	(10 C)Ulvsunda	2012-05-06					Ni	na	na	na				
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2011-11-28				na					na	na		
10	(56B)Riksby (Lillsjön)	2012-05-06				na		na	na			na		na
10c	Äppelviken	2012-01-11				na		na			na	na	na	
10d	Stora mossens koloni omr	2012-05-06				na		na	na	na	na	na	na	
11	(52)Råcksta träsk	2011-12-15				na						na		
12	(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28				na		na	na		na	na	na	
13	Hässelby strandbad	2012-05-05												na
14	Maltesholmsbadet	2012-05-05										na		
14a	Lövstatippen	2011-12-20				na		na	na	na	na	na	na	na
14b	Lövsta våtmark	2011-12-20				na						na		
14c	Lövsta - Riddersvik	2012-06-07												
15b	Kungsholmen Ö	2011-12-15						na				na		
15b	Kungsholmen Ö	2012-05-04				na	Hg		na			na		na
15c	Kungsholmen N	2011-12-15				na			na			na		na
16	(2)Liljeholmen/Trek	2011-12-09				na		na	na	na	na	na	na	na
17	(39)Vinterviken	2011-12-09				na			na	na	na	na	na	
18	Bredäng	2011-12-16										na		
19c	Hägersten	2011-12-21	na			na		na	na	na	na	na	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2011-12-21	na			na		na	na	na	na	na	na	na
19d	Hägersten-Aspudden	2012-05-07												
20	(73)Älvsjömässan	2011-12-12										na		
21	(57)Stureby	2011-12-12				na			na	na	na	na	na	
21	(57)Stureby	2012-05-07												
22	Enskedefältet	2011-12-12				na		na		na	na	na	na	na
23	Sättrabadet	2012-05-07					Zn							
23b	Sättraån (ej grundvatten)	2012-05-23	na			na			na			na		
24	Långsjön	2012-05-07					Zn							
26c	Högdalstoppen	2011-12-21				na		na	na	na	na	na	na	na
27	(23)Gubbängen	2011-11-25				na			na		na	na	na	na
27	(23)Gubbängen	2012-05-04		na	na		na	na				na		
28a	Skogskyrkogården brunn	2011-12-14				na						na		
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11				na		na			na	na	na	
28c	Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04		na	na		na		na			na		
29	Tallkrogen/Olympiav	2011-11-25				na			na	na	na	na		na
30	(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12										na		
31	(50)Skrubba	2011-12-12					As, Hg		na			na		
32	(53)Enskede/Kärntorp - Ältasjön	2011-12-14							na			na		
32b	Björkhagen	2012-06-07				na			na					
33	(43)Enskede gård	2011-12-14							na			na		
33b	Johanneshov	2011-12-21	na			na	Cd, Zn	na	na	na	na	na	na	na

Tabell 17. Sammanfattande tabell över haltnivåer av respektive ämnesgrupp. na="not analysed", analysresultat saknas.

Nr (se Figur 1)	Provpunktensnamn	Provtagningsdatum	Konduktivit	Klorid	Nitrat-, nitrit-, ammonium-N eller fosfat-P	Escherichia coli	Tungmetaller	PAH	BTEX o Cl-/Br- alifater	Fenolära ämnen	Perfluorerade ämnen	Tennorganiska ämnen	Ftalater	Bekämpningsmedel
33c	Gla Enskede/Dagöv	2011-12-22	na			na		na	na	na	na	na	na	na
33d	Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07					Zn							
33f	Stureby/Kottgatan	2012-06-07				na						na		
37b	Sköndal/Spettekakev	2012-01-11				na		na			na	na	na	
37c	Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04												
37d	Flaten/dagvattendike (ej grundvatten)	2012-05-23	na			na		na				na		
39b	Fagersjöviken	2012-01-11				na		na			na	na	na	
39b	Fagersjöviken	2012-05-04		na	na		na	na						na
40a	Södermalm V/Verkstadsg	2012-06-08				na	Hg		na			na		na
40e	Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08				na	Zn							
41b	Lilla Bleckan	2011-12-06				na	As	na	na	na	na	na	na	na
41c	Eriksdalsbadet	2011-12-12				na						na		
42d	Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06										na		na
42e	Sjöbergs plan	2012-05-03				na								na
42f	Franska bukten	2012-05-03				na								
42g	Kornhamnstorg	2012-05-03				na						na		
43	K-trädg	2011-12-05				na		na	na	na	na	na	na	na
44	(16A)Åsen Norrmalm	2011-12-05										na		na
44b	Östermalm	2012-06-09				na		na		na	na	TBT		na
44c	S. Östermalm/Strandv	2012-06-09				na		na						na
45	(19)Engelbrektsplan	2011-12-05					As, Hg		na		na	na		na
45	(19)Engelbrektsplan	2012-05-03				na			na	na	na	na	na	
45d	Vasastan N/Upplandsg	2011-12-15				na		na	na	na	na	na	na	na
45d	Vasastan N/Upplandsg	2012-05-03				na						na		
45f	Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08				na								
46b	N Djurgården	2011-12-05							na			na	na	
46d	N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09				na		na		na	na	na	na	na
47a	(9A)Värtahamnen	2011-12-05						na		na		na		
48b	(8B)Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06										na		
50	Bellevue/Norra Länken	2012-05-03				na								
51	Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-03				na								
53a	Skansen 401	2011-12-21	na			na		na	na	na	na	na	na	na
53b	Skansen 402	2011-12-21	na	na	na	na	Hg	na	na	na	na	na	na	na
53c	Skansen 403	2011-12-21	na	na	na	na		na	na	na	na	na	na	na
	Som sämst tillståndsklass 5 enligt SGU (2013) för minst en parameter													
	Som sämst tillståndsklass 4 enligt SGU (2013) för minst en parameter													
	Bedömningsgrunder saknas, högre halt har uppmätts för minst en parameter													
	Bedömningsgrunder saknas, något högre halt har uppmätts för minst en parameter													
	Provpunkter som ligger i åsen eller i anslutning till den och där det kan finnas åsinslag													

Den provpunkt som har flest förorenade ämnen enligt Tabell 17 är provpunkt 9 (på Ulvsunda industriområde), om man räknar bort klorid och konduktivitet. Därefter kommer provpunkterna 40a och 40e (på västra Södermalm), 44b (på Östermalm), 45f (på södra Vasastan/Torsgränd) och provpunkt 51 (Bellevueparken/Stallmästargårdens båt-klubb). Alla dessa platser kan också förväntas vara starkt mänskligt påverkade.

Rören vid Södermalm V (40a och 40e) ligger nära varandra och visar att halter kan skilja sig även på korta avstånd. Ett grundvatten som är förorenat av en punktkälla kommer visa variation i halter både i djupled och inom ganska små geografiska områden, särskilt när marken i huvudsak består av små avgränsade moränvolymmer och en så komplex hydrogeologi, som är vanligt i Stockholm. Idealt bör variabiliteten undersökas för att man ska kunna bedöma hur ofta prov ska tas och hur tätt geografiskt för att få en bra bild av stadens grundvattenkvalitet. Detta är ett skäl till att ta prov på så många platser som möjligt istället för att välja färre provpunkter och ta prover oftare. En fråga är hur generaliserbara resultaten från undersökningen är, vad säger de om Stockholms grundvattenkvalitet? Förhoppningen är att det relativt stora antalet provpunkter och analysparametrar innebär att resultaten är relativt generaliserbara för Stockholms grundvatten.

6.6 Källor till föroreningar

Många föroreningar binds hårt i naturlig mark, särskilt i de ytligaste markskikten som är rika på organiskt material. Det gör att de endast i liten utsträckning borde följa med vattnets flöde och hamna i grundvatten. I urban miljö tas ofta skyddande jordlager bort, vilket gör att föroreningar i högre utsträckning kan transporteras vidare i marken. I Stockholm finns naturligt lera ovanpå moränen i dalgångarna som kan förhindra att föroreningar sprids till djupare marklager. Höjder är ofta avspolade efter inlandsisens avsmältning vilket gör att jordlagren där är tunna eller saknas helt, vilket innebär att föroreningar lättare kan nå ner i marken. Ovanpå de naturliga jordlagren finns ofta fyllnadsmassor som kan vara förorenade. Fyllnadsmassorna består både av jord och byggnads/rivningsmaterial och kan ha flyttats dit från andra platser på mindre eller större avstånd. Det gör att det är svårt att veta var markföroreningarna finns och markkemin blir mer heterogen än vad den annars skulle varit. Leran kan också bilda täta lager där den fått vara ostörd, vilket kan ge upphov till dubbla grundvattenbildningar, med olika kemiska egenskaper, grundvattennivå och strömningsförhållanden.

På platser där många föroreningar förekommer kan källan vara avloppsvatten. Avloppsvatten innehåller de flesta ämnen som människan i urban miljö hanterar eller som finns i varor och byggnadsmaterial och är därför desamma som den urbana människan sprider. Jämförelsen mellan avlopps-, dag- och grundvatten för respektive ämnesgrupp (kapitel 4) har visat att det på många platser inte är så stor skillnad i halter. En förklaring kan vara att avloppsvatten (spill- och dagvatten) läcker till grundvattnet på många ställen, men det kan också vara det omvända. En stor del av det avloppsvatten som hanteras i reningsverken har beräknats bestå av grundvatten som läckt in i ledningssystemen. Samtidigt läcker en hel del rent tappvatten också ut till grundvattnet och bör spä ut föroreningarna.

Stockholm Vatten har låtit utreda risker med utläckaget av spillvatten från avloppssystemet och påverkan på grundvattenkvaliteten (Mayer (2008)). Mayer konstaterar bland annat att det är omöjligt att få ett helt tätt avloppssystem. Stockholms avloppssystem är delvis mycket gammalt. Det finns stentrummor som är 90-135 år gamla i centrala delar av sta-

den, lerrör som är från början av 1900-talet i Vasastaden och lika gamla betongrör. Sättningskador och vegetation som har rötter som gärna tränger sig in i ledningar skapar också läckage. En slutsats Mayer (2008) drar är att Stockholm Vatten ska prioritera gamla ledningar och sådana där läckage kan påverka kvalitén i Stockholmsåsen, eftersom grundvattenflödet där kan antas särskilt stort och därför kunna påverka ytvattenrecipienterna.

Stockholms grundvatten är påverkat av människan och storstadens aktiviteter, vilket också tidigare grundvattenundersökningar visat. För alla tungmetaller kan förhöjda halter ha orsakats av mänsklig påverkan – alla dessa ämnen är sådana som har använts mycket i Stockholm och som förekommer som markföroreningar. Kemikalie- och oljespill, lagring av varor/material/avfall som avger föroreningar, vägsalt, biltvätt och luftföroreningar är andra tänkbara källor till föroreningar i grundvattnet. Många av dessa källor kan betraktas som diffusa.

När det gäller luftföroreningar och effekt på mark och vatten har fokus tidigare mest varit på försurande ämnen. Eftersom marken har god buffringskapacitet är kritisk belastningsgräns för försurning sannolikt hög i Stockholm jämfört med för landet i stort. Kritisk belastningsgräns är en parameter som säger hur mycket svavel- och kvävedeposition marken tål innan försurning uppstår och sannolikt klarar Stockholms mark en hel del svavel- och kvävebelastning. Däremot kan det kväve som inte vegetationen fångar upp leda till negativa effekter som övergödning av ytvatten (Bertills och Lövblad, 2002).

6.7 Effekter av förorenat grundvatten

Jämförelsen mellan grundvattenrörens halter och intilliggande vattendrag vid Sättrabadet respektive vid Flaten gav inte några särskilt anmärkningsvärda resultat. Flatendiket visade högre halter av klorid, sulfat, fosfor och perfluorerade ämnen än grundvattnet i närheten. Detta beror antagligen på att diket innehåller en stor andel dagvatten. Sättraån hade ett betydligt mindre förorenat vatten och i det fallet var halterna högre i grundvattnet vad gäller ammoniumkväve och eventuellt fosfor, åtminstone för ofiltrerat prov. För övriga miljömässigt intressanta parametrar var skillnaderna små mellan dessa grund- och ytvatten.

Vid mer generella jämförelser mellan halter i grundvatten och Stockholms ytvatten visade det sig i flera fall vara högre halter i grundvatten. Vid sådana jämförelser bör man dock tänka på att många ämnen påverkas av t.ex. pH och syrehalt vilket kan förändras när vatten rinner ut i ytvattenrecipienten. Ett ytvatten kan också ha lägre halter än ett grundvatten för att ytvattnet delvis består av regnvatten som fallit direkt på vattenytan eller i närområdet och därför inte fångat upp ämnen vid kontakten med mark. Ett djupt grundvatten som haft en lång kontakttid mellan mark och vatten för jonbyten och andra kemiska och fysikaliska processer har ofta hög jonstyrka. När grundvattnet sedan strömmar ut i ett ytvatten sker en utfällning eller utspädning som gör att organismerna i ytvattnet sällan utsätts för den jonstyrka som man finner i grundvattnet.

Länsstyrelsen i Stockholm har tillsammans med miljöförvaltningen övervakat halter av olika miljögifter i Bällstaån (Länsstyrelsen i Stockholms län 2013). Fluoranten, benso(b)fluoranten, benso(g, h, i) perylen och PFOS har av dem påträffats i så höga halter att god kemisk status för Bällstaån inte uppnås. Just grundvattenhalterna i provpunkt 8b,

som sannolikt har Bällstaån som ytvattenrecipient, hör inte till de högsta. Liknande halter som i Bällstaån har emellertid påträffas på andra håll i Stockholms grundvatten, och det finns inget som säger att just provpunkt 8b är representativ för hela Bällstaåns tillrinning av grundvatten. Grundvatten kan alltså vara en källa/flödesväg för föroreningar även till Bällstaån.

6.8 Trender

De mest förorenade platserna 1996/1997 gick inte att provta från 2011/2012. Eftersom grundvatten i regel provtas som glesa stickprov är kunskapen om mer kortsiktiga variationer liten. Ganska ofta finns skillnader mellan prov som tagits vid olika tillfällen. Om det finns något systematiskt samband mellan olika faktorer har emellertid varit svårt att avgöra. Inga tydliga samband har syns vad gäller årstidsskillnader. Den principal-komponentanalys som NIRAS genomförde var inte särskilt inriktad på att jämföra proven tagna olika årstider. Ändå kunde de dra en slutsats om att det inte fanns några stora skillnader mellan prov tagna på vintern 2011/2012 och våren 2012, varför deras slutsats var att grundvattnet är ett trögt system som inte reagerar på årstidsväxlingar. Om det stämmer är det en fördel, eftersom provtagning och kemisk analys är tidsödande och dyr och det därför förenklar om prov från olika tidpunkter kan hanteras tillsammans, utan särskild hänsyn till provtagningsdatum. Trendanalyser kräver dock alltid långa tidsserier, särskilt för parametrar som påverkas av mer kortsiktigt varierande faktorer som inte enkelt kan kontrolleras, som t.ex. grundvattenivåvariationer, eller temperaturskillnader. Det gör att Stockholms grundvattenundersökningar mer visar en kartläggning av tillståndet än att ge underlag till trendanalyser. För bra statistiska analyser krävs ett större antal provpunkter.

7 SLUTSATSER

Resultaten från grundvattenundersökningen 2011/2012 innebär ökad kunskap om stadens grundvattenstatus, framförallt om tillståndet, men resultaten kommer också till nytta i samband med åtgärdsarbete och annat relaterat arbete.

7.1 Beskriva tillståndet

I förhållande till bedömningsgrunder för grundvatten (SGU,2013) har höga eller mycket höga halter:

- näringsämnen uppmätts i 58 %,
- tungmetaller i 17 %,
- rester av bekämpningsmedel 13 %,
- tri- och tetrakloreten i 9 %,
- benso(a)pyren i 5 %,
- summa PAH4i 5 %, och
- bensen i 2% av proven.

För övriga analyserade organiska miljögifter saknas bedömningsgrunder. Flera av dessa förekommer i Stockholms grundvatten. Andelen prov med halt över rapporteringsgräns var för:

- tennorganiska ämnen 100 %, men då i huvudsak monobutyltenn som inte är skadligt på samma sätt som varianter med fler tenngrupper,
- perfluorerade ämnen 51 %,
- PAHer (inklusive benso(a)pyren och PAH4) 37 %,
- bisfenolA, oktyl- och nonylfenoler 36 %,
- klorerade alifater och vinylklorid 24 %
- ftalater 16 %
- toluen, etylbensen och xylener 13 %,

Endast i 14 av 74 grundvattenprovpunkter (19 %) har inga av dessa ämnen påträffats i höga eller mycket höga halter alternativt påträffats över rapporteringsgräns, för ämnen där bedömningsgrunder saknas. De provpunkter där inga föroreningar har påträffats är spridda över staden. Eftersom provpunkterna är relativt slumpmässigt valda innebär det att man kan utgå från att huvuddelen av stadens ytliga grundvatten innehåller föroreningar av något slag. Grundvattnets kemiska innehåll ger en indikation om vilken och hur stor kemisk belastning marken har utsatts för.

Ämnen som analyserats men inte påträffats någonstans över rapporteringsgräns är:

- diklor- och tetraklormetan
- 1,2-diklor- och 1,1,2-trikloreten
- 1,2-diklorpropan
- dibromklormetan
- 1,2-dibrommetan
- alkylfenoletoxilater (oktyl- och nonylfenoletoxilater)
- perfluordekansulfonat (PFDS), perfluordodekansyra (PFDoA), perfluoroktansulfonamid (PFOSA)
- tetrabutyltenn, oktyltenn, hexyltenn, fenyltenn

- di-n-propylftalat, di-n-butylftalat, di-isobutylftalat, di-n-oktylftalat, butylbensylftalat, di-cyklohexylftalat, och
- glyfosat

Orsaken till att dessa ämnen inte påträffats kan vara att de har egenskaper som gör att de inte följer med grundvattenflödet, att de brutits ner när de nått grundvattnet, att de analyserats med för hög rapporteringsgräns i förhållande till vad som vore relevant eller att de helt enkelt inte har stor spridning i Stockholm.

Jämförelse med ytvattenhalter

Den jämförelse som gjorts med halter i ytvatten visar att utströmmande grundvatten kan utgöra en källa till näringsämnen, och på vissa platser också till tungmetaller, alkylfenoler och perfluorerade ämnen till ytvattenrecipienter. För de flesta övriga ämnen saknas data från ytvatten, varför jämförelser inte kan göras.

Jämförelse med avlopps och dagvatten

Den jämförelse som gjorts med halter i inkommande avloppsvatten till stadens reningsverk visar att halterna generellt är lägre i grundvatten men lokalt finns platser med högre halter. Detta gäller ammoniumkväve, totalkväve, totalfosfor, arsenik, kadmium, zink, nickel, enskilda PAH:er, vissa klorerade alifater, vinylklorid, toluen, alkylfenoler, tennorganiska ämnen och DEHP. Halterna klorid är emellertid även generellt högre i grundvattnet än i avloppsvattnet. Halterna i grundvatten skiljer sig heller inte anmärkningsvärt mycket från de halter i dagvatten som rapporterats. Data saknas emellertid för avlopps- och dagvatten för flera ämnen, varför jämförelser inte är möjliga för alla ämnen.

7.2 Effekter/nytta med undersökningen

Nytta i vattenarbetet:

Bedöma effekter på ytvatten och ekosystem:

- De flesta ämnen som analyserats har påträffats i grundvatten i Stockholm på flera platser, vilket är problematiskt eftersom flera av dessa ämnen är miljögifter och därmed skulle kunna orsaka skadliga effekter i ekosystemen. Ytterligare bedömningar måste dock till för att avgöra om uppmätta halter av föroreningar i grundvattnet verkligen innebär problem för ytvattenrecipienter. Kunskap om effekter på arter och ekosystem saknas för många ämnen och kombinationer av kemisk och fysisk påverkan. Dessutom är en halt i ett utströmmande grundvatten inte att direkt beakta som en halt som organismer, växter och djur i ytvattenrecipienten utsätts för. Att grundvattnet kan antas vara förorenat bör emellertid beaktas när åtgärder ska sättas in för att stadens ytvattenrecipienter ska uppnå god kemisk status, kopplat till dels kommande åtgärdsprogram för vatten och dels arbetet inom stadens vattenprogram fram till år 2015.

Utgöra underlag för rapportering kopplad till vattendirektivet:

- Stockholmsåsen/Brunkebergsåsen skulle kunna bli aktuell som grundvattenförekomst i framtiden. Inte som presumtiv dricksvattenförekomst men för att grundvattenkvaliteten skulle kunna påverka grundvattenberoende ekosystem eller anslutande ytvattenförekomster. Fördelen med att en

grundvattentillgång klassas som en förekomst är att det ställer höga krav på åtgärder för att förbättra tillståndet. Nackdelen är dels att det kommer vara mycket svårt att förbättra tillståndet inom de tidsperspektiv som gäller i dagens lagstiftning kopplad till vattendirektivet och dels för att miljökvalitetsnormer skulle behöva beaktas vid all byggnation och när nya verksamheter introduceras. Det senare skulle vara ett problem eftersom förorening av grundvattnet sällan kan uteslutas, eftersom försämrade kvaliteten kan uppstå genom indirekt påverkan, som ändrad grundvattenflödesriktning/föroreningsspridning från gamla markföroreningar, även om verksamheten i sig inte introducerar skadliga ämnen. Mot bakgrund av detta bör staden verka för att de delar av åsen som ligger inom stadens geografiska område även fortsättningsvis inte ska klassas som grundvattenförekomst.

- De prov som tagits i åsen har inte någon vidare kvalitet, vilket innebär att åsen antagligen inte skulle uppfylla kraven för god grundvattenkvalitet om den rapporterades som grundvattenförekomst idag och inom överskådlig framtid.
- Om åsen skulle klassas som förekomst måste en större insats göras för bättre provtagningsmöjligheter i åsen. Tillgången på användbara provpunkter är idag begränsad.

Identifiera trender:

- De trendanalyser som har gjorts tyder på att stadens grundvattenkvalitet förbättrats. Det gäller emellertid bara ämnen som också analyserats i tidigare undersökningar och där metoderna varit jämförbara. För ”nyare ämnen” kommer materialet kunna användas vid trendanalyser om liknande undersökningar görs i framtiden. Det bör dock påpekas att tre provtagningsomgångar med få återkommande provpunkter inte är ett tillräckligt underlag för trendanalyser. Istället bör undersökningen ses som en ”screening”/kartläggning över tillståndet.

Nytta för att åtgärda källor till föroreningar:

Upptäcka markföroreningar:

- Markföroreningar förekommer på många platser i Stockholm. De upptäcks ofta i samband med exploatering, och ibland på oväntade ställen. Ytterligare ett sätt att upptäcka markföroreningar är genom miljöövervakning av mark eller grundvatten. Ett område (provpunkt 10) med hög halt tri- och tetrakloreten som upptäcktes i samband med undersökningen har lett till mer detaljerade undersökningar år 2013 för att kartlägga källor och spridningsmönster. Flera liknande undersökningar är möjliga utifrån dataunderlaget, där höga halter upptäckts av något eller några ämnen.

Åtgärda avloppsläckage:

- I flera fall kan orsaken till föroreningar i stadens grundvatten sannolikt kopplas till avloppsläckage. Många av ämnena som analyserats förekommer i avloppsvatten, vilket gör att prov där många ämnen påträffats kan antas ha avloppsläckage som källa (se Tabell 17). Genom att succesivt åtgärda ledningsnätet bör läckaget från ledningar minska, vilket kan förbättra grundvattenkvaliteten. Ett sådant arbete bör prioriteras högt.

Åtgärda diffusa källor till föroreningar:

- Att många ämnen förekommer frekvent i grundvattnet innebär att det är fortsatt angeläget att driva en utveckling mot minskad diffus spridning genom användning av miljögifter i samhället.

Nytta som referensmaterial i samband med andra undersökningar:

Av förorenade områden:

- Ofta analyseras grundvatten i exploateringsärenden eller när förorenade områden ska undersökas och det finns behov av data att jämföra resultaten mot. Resultaten från denna undersökning kan då vara till stor nytta.

Vid bedömning av möjligheter till lokalt omhändertagande av dagvatten:

- Lokalt omhändertagande av dagvatten är en åtgärd som både skulle öka stadens resiliens vad gäller höga vattenflöden, öka grundvattenbildningen och förbättra tillståndet vad gäller kemisk belastning på ytvattenrecipienter för dagvatten och reningsverkens funktion. I samband med bedömning av möjligheter till lokalt omhändertagande av dagvatten är kunskapen om vanliga halter i stadens grundvatten till nytta.

Vid annan miljöövervakning:

- Materialet från undersökningen kommer kunna användas som ett referensmaterial i samband med miljöövervakning både i Stockholm och i andra kommuner.

Råd inför stadens framtida grundvattenundersökningar:

Bedöma behovet av att beakta årstidsvariationer/provtagningsdatum:

- Jämförelsen mellan prov från olika årstider visade att grundvattnet i Stockholm är ett trögt system och att kvaliteten inte direkt påverkas av årstidsväxlingar. Det innebär att data från olika tidpunkter under ett år bör kunna läggas ihop, vilket är en fördel eftersom provtagning och analys är tidsödande och dyr och hänsyn till provtagningsdatum skulle försämra möjligheten till slutsatser.
- Grundvattenundersökningar av den här typen har genomförts sammanlagt tre gånger, vart sjätte till åttonde år i Stockholm. I samtliga undersökningar har konstaterats att Stockholms grundvatten är förorenat, vilket också kan förväntas i en stor stad med lång och industriell historia. I framtiden bör liknande undersökningar kunna göras mer sällan eller annorlunda. Ett förslag är att undersöka mindre områden mer detaljerat för att bättre kunna koppla problemämnena/områden till åtgärder. I samband med att nya databaser byggs upp i staden bör också mer analyser kunna göras på material som tas fram av konsulter och andra aktörer, och dessutom bör de nya databaserna och ökad tillgänglighet på data kunna leda till att mer effektiva förstudier kan göras vilket skulle förbättra möjligheten till mer effektiva undersökningar.

8 REFERENSER

- Adolfsson-Erici M, Pettersson M, Wahlberg C, Asplund L (2005): Östrogena ämnen I avloppsvatten, slam och lagrad urin. VA-Forsk rapport No 2005-03.
- Andersson H, Palm Cousins A, Brorström-Lundén E, Wickman T, Pettersson M, Holmström K, Fischer S och Parkman H (2012): Summary report SWEDEN - Work package 4: Identification of sources and estimation of inputs/impacts on the Baltic Sea. Projekt rapport EU-projektet COHIBA, www.cohiba-project.net/publications.
- Bertills U och Lövblad G (2002): Kritisk belastning för svavel och kväve. Rapport 5174, ISSN 0282-7298, ISBN 91-620-5174-1, Naturvårdsverket förlag
- Björklund K, Palm Cousins A, Strömvall A-M och Malmqvist P-A (2009): Phtalates and nonylphenols in urban runoff: occurrence distribution and area emission factors. *Science of the Total Environment*, 407(16), 4665-4672.
Doi:10.1016/j.scitotenv.2009.04.040
- Björklund K (2010): Substance flow analyses of phtalates and nonylphenols in storm-water. *Water Sciences and Technology*, 62(5), 1154-1160,
doi:10.2166/wst.2010.923
- Björklund K (2011): Sources and fluxes of organic contaminants in urban runoff. Doktorsavhandling från Chalmers Tekniska Högskola. ISBN 978-91-7385-480-1, Tabell 6, sid. 25.
- EFSA (2006): Bisphenol A for use in food contact materials. (Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavours, Processing Aids and Materials in Contact with Food on a request from the Commission related to 2,2-BIS(4-HYDROXYPHENYL)PROPANE, (Bisphenol A), Question number EFSA-Q-2005-100 Adopted on 29 November 2006) *The EFSA Journal* (2006) 428, sid. 5 av 75.
- Eneroth K (2012): Depositionsberäkningar av kväve och svavel år 2010, PM 2012-06-11, SLB-analys.
- Fogelberg O, Holmström K, och Gyllenhammar C (2013): Översiktlig undersökning av förekomst och spridning av perfluorerade ämnen vid brandövningsplats Bromma flygplats. Swedavia. Sweco Environment AB, Stockholm.
- Fried U (2013): Grundvattenkvaliteten i urban miljö – en förstudie till Stockholms stads grundvattenundersökning. Examensarbete i Miljö och hälsoskydd vid Institutionen för Naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms Universitet.
- GEUS (2012): Grundvand – Status och udvikling 1989-2011, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Gronland, Klima-, energi-, og bygningsministeriet.
- Henriksson J (2011): Miljögifter i Stockholms dagvatten Del 2 – Analys av PFOS och PFOA. Självständigt arbete i tillämpad miljövetenskap 30 hp. Institutionen för tillämpad miljövetenskap 2011:201

Grundvatten i Stockholm

Referenser

- Holmström K, Fogelberg O, Onkenhout J, och Gyllenhammar C (2013): PFOS Fördjupad undersökning av perfluorerade ämnen vid Bromma flygplats. Swedavia Bromma, Sweco Environment AB, Stockholm
- KemI (2006): Perfluorinated substances and their uses in Sweden. KemI rapport 7/06.
- Larm T (2012): dataunderlag som används för modellen StormTac – excellfil från 2012-03-11.
- Länsstyrelsen i Stockholms län (2013): Bällstaåns kemiska och ekologiska status med avseende på miljögifter 2011-2012.
- Lövgren E (2012): Perfluoroalkyl substances in the groundwater of Stockholm The role of subsurface reactions. Examensarbete vid KTH, Mark och Vattenresurs Teknik. TRITA-LWR Degree Project 12:28 LWR-EX-12-28, ISSN 1651-064X
- Mayer A (2008): Utläckage av spillvatten från avloppssystemet och risk för förorening av grundvatten. Riskvärdering. Stockholm Vatten 2008-08-25.
- Miljöförvaltningen (1997): Grundvatten i Stockholm. Tillgång sårbarhet kvalitet. Framtagen av SGU på uppdrag av miljöförvaltningen i Stockholms stad
- Miljöförvaltningen (2006): Grundvatten i Stockholm. Framtagen av SWECO VIAK på uppdrag av miljöförvaltningen i Stockholms stad
- Miljöförvaltningen: opublicerade data. Miljöövervakning ytvatten Årstadal, Drevviken, Blockhusudden) Perfluorerade ämnen bl.a. – bör bli tillgängligt 2014
- Miljöförvaltningen i Malmö stad (2005): Kontrollprogram grundvatten – Grundvattenprovtagning med inriktning mot klorerade kolväte. SwecoViak AB, Södra regionen, Malmö 2005-01-20
- Paxeus N (1999): Organiska för(or)eningar i avloppsvatten från kommunala reningsverk. VA FORSK Rapport 1999-12 VAV AB. ISBN 91-89182-26-X
- Pettersson M och Wahlberg C (2010): Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. Svenskt Vatten Utveckling rapport nr 2010-02, Bilaga B.
- SGU (2013): Bedömningsgrunder för grundvatten, SGU rapport 2013:01
- Sollentuna kommun (2012): Miljöövervakning - grundvatten, provtagning 2011. 2012-08-27 Dnr. MBN 2012.338
- Sternbeck J och Österås A H (2010): Miljöövervakning av miljögifter i urbana områden – sammanställning och analys. WSP på uppdrag av Naturvårdsverket.
- Stockholm Vatten (2013): Miljörapport 2012.
- Struktur (2011): Miljöteknisk markundersökning, Del av Säby 3:20, uppdrag från Brandkåren Attunda M1100162, 2011-11-04
- Svanberg F (2008): Förorenade områden. Inventering av brandövningsplatser i Stockholms län. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 2008:26.

UNIDO, UNEP, Unitar och Stockholm Convention (2012): Guidance for the inventory of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Tillgänglig via:

http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/Stockholm_Convention/Guidance_Docs/UNEP-POPS-GUID-NIP-2012-PFOS-Inventory.En.pdf

Woldegiorgis A, Andersson J, Remberger M, Kaj L, Ekheden Y, Blom L, Brorström Lundén E, Borgen A, Dye C och Schlabach M (2006): Results from the Swedish National Screening Programme 2005. Subreport 3: Perfluorinated Acrylated Substances (PFAS). IVL Report B1698

Österås AH och Sternbeck J (2010): Miljöövervakning av ytvatten i Stockholm Stad – sammanställning för år 2009. WSP på uppdrag av Miljöförvaltningen, Stockholm Stad.

Österås AH, Sternbeck J och Gyllenberg K (2011): Miljögiftsövervakning av ytvatten och fisk i Stockholms Stad – sammanställning för år 2010. WSP på uppdrag av Miljöförvaltningen, Stockholms stad.

Websidor:

KemIs produktregister (2013):

<http://www.kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/Tennorganiska-foreningar/>

<http://www.kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/Glyfosat/>

KemIs ämnesinformation (2013):

<http://www.kemi.se/Innehall/Fragor-i-fokus/Perflourerade-amnen-PFOS-PFOA-med-flera/>

Miljöbarometern (2013), för pH i Stockholms sjöar:

<http://miljobarometern.stockholm.se/key.asp?mo=3&dm=2&nt=7>

Stockholms hamns hemsida (2012):

<http://www.stockholmshamnar.se/Allmanhet/Vattenniva--floden--vindar/>

9 BILAGOR

Bilaga 1. Kartillustrationer av halter (kartor med staplar) av ett urval ämnen i prov från provtagningen 2011/2012.

Bilaga 2. Kvalitetssäkring och statistisk bearbetning av grundvattendata från Stockholms stad. Rapport av Niras 2013-02-05.

Kartillustrationer över halter av valda ämnen i grundvatten

I denna bilaga finns kartillustrationer med halter som staplar av ett urval av de ämnen som analyserats vid grundvattenundersökningen i Stockholm 2011/2012. I vissa fall har prov tagits både under vinter och vår, och för dessa visas resultat enligt nedan.

Provpunkter med resultat från mätningar under 2011 och 2012

EUROFINS:

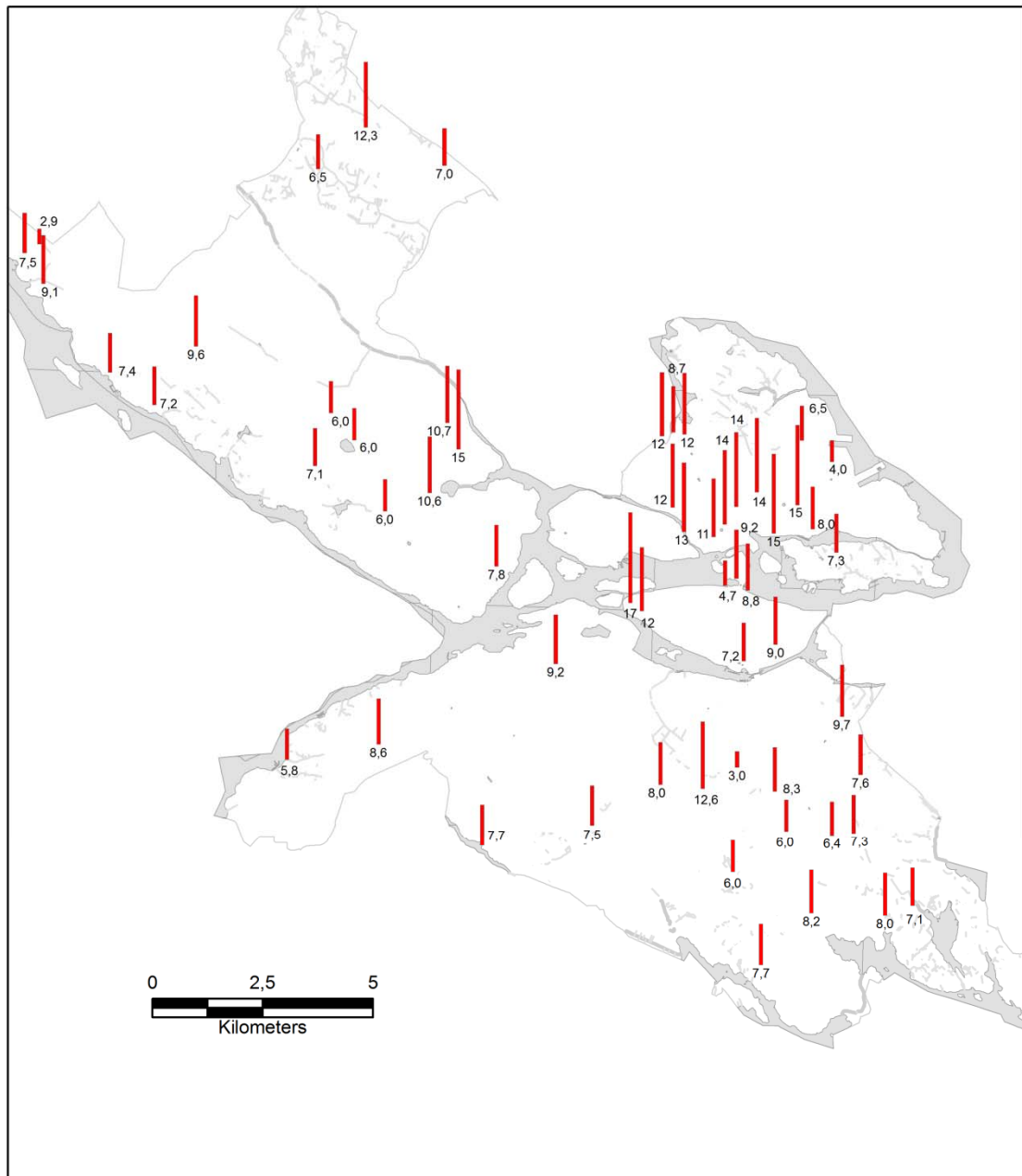
Prov	Ämne med två mätningar (valt år inom parentes)	Kommentar
4	Basparametrar (2012)	
5b	-	Mätningarna kompletterar varandra.
6	Basparametrar(2011)	NO ₃ -N ₂₀₁₁ =9600 µg/l NO ₃ -N ₂₀₁₂ =1.8 µg/l Valt 2011, stor skillnad i resultat.
9	Basparametrar (2012)	
10	Basparametrar (2012)	
15b	Basparametrar (2012) Perfluorerade ämnen (2011)	
19d	Basparametrar (2012)	
21	Basparametrar (2012)	NO ₃ -N ₂₀₁₁ =36 µg/l NO ₃ -N ₂₀₁₂ =800 µg/l NH ₄ -N ₂₀₁₁ =990 µg/l NH ₄ -N ₂₀₁₂ =33 µg/l Valt 2012, stor skillnad i resultat.
27	-	Mätningarna kompletterar varandra.
28	-	Mätningarna kompletterar varandra.
39b	-	Mätningarna kompletterar varandra.
45	-	Mätningarna kompletterar varandra.
45d	Basparametrar (2012)	

Temperatur, pH och konduktivitet är valda från samma år som basparametrarna

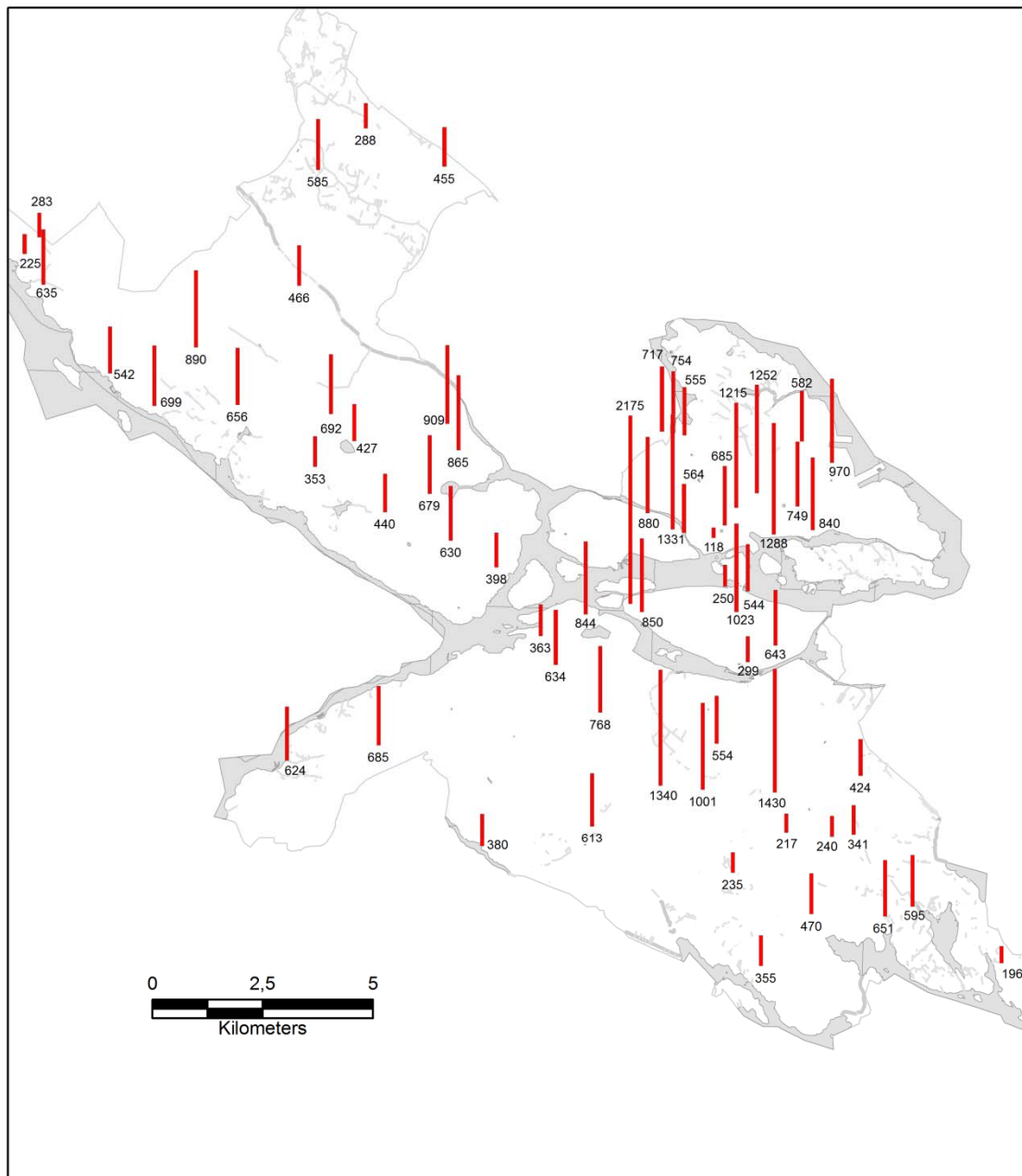
ALS:

Prov	Ämne med två mätningar (valt år inom parentes)	Kommentar
4	Metaller (2012)	
5b	-	Mätningarna kompletterar varandra.
6	Metaller (2012)	
9	Metaller (2011) Ftalater (2012) BTEX (2011)	För BTEX 2011 saknades 3 ämnen som inte var beställda, 2012 var alla under detektionsgräns.
10	Metaller (2011) Ftalater (2012)	
15b	Metaller (2011) PAH:er (2011) Ftalater (2012) Fenolära ämnen (2011)	
19d	Metaller (2011)	
21	Metaller (2012) PAH:er (2012) BAM (2012)	
27	-	Mätningarna kompletterar varandra.
28c	-	Mätningarna kompletterar varandra.
39b	-	Mätningarna kompletterar varandra.
45	Metaller (2012) PAH:er (2012)	
45d	Metaller (2011)	

Fältparametrar

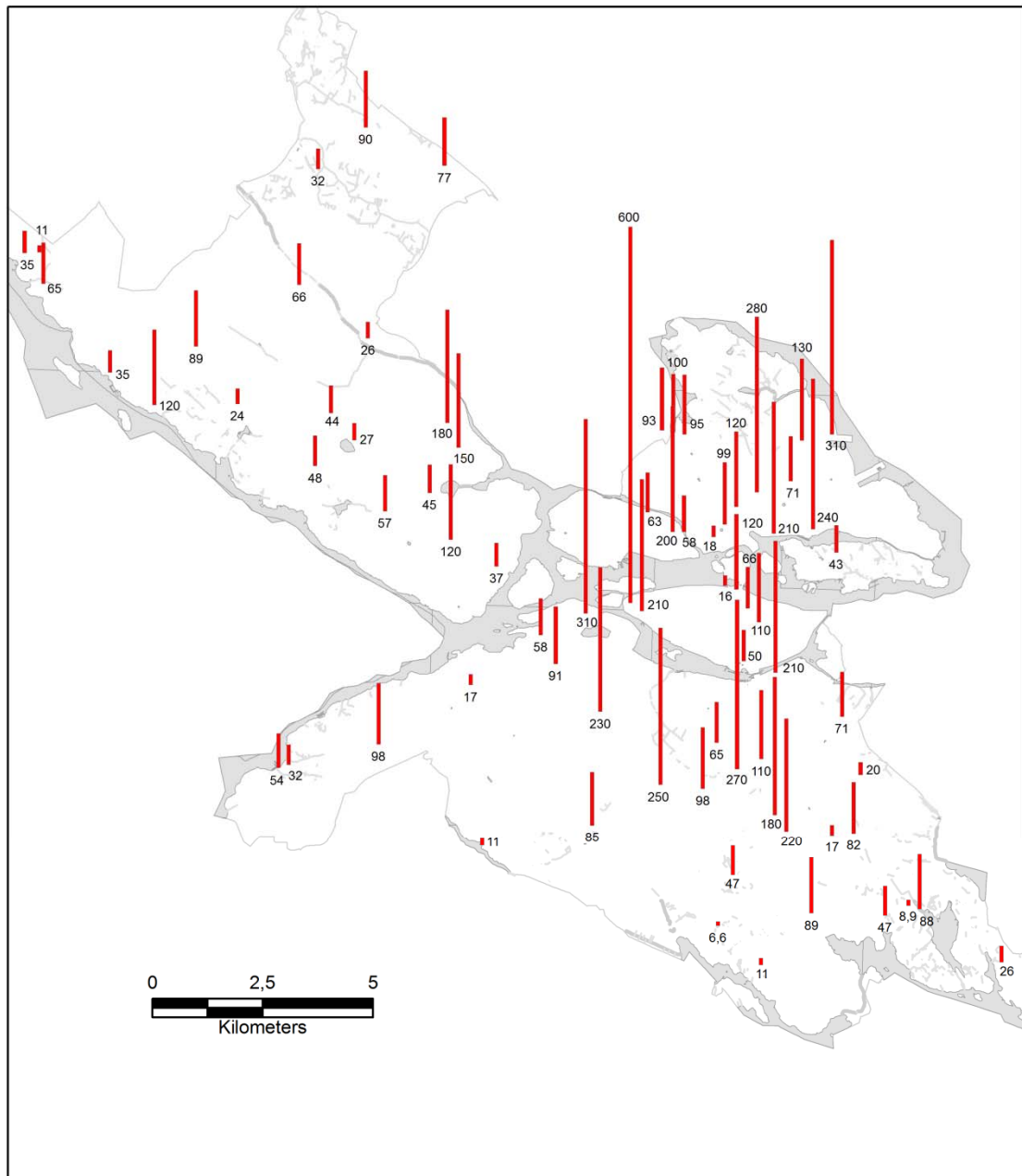


Figur 1. Temperatur (°C).

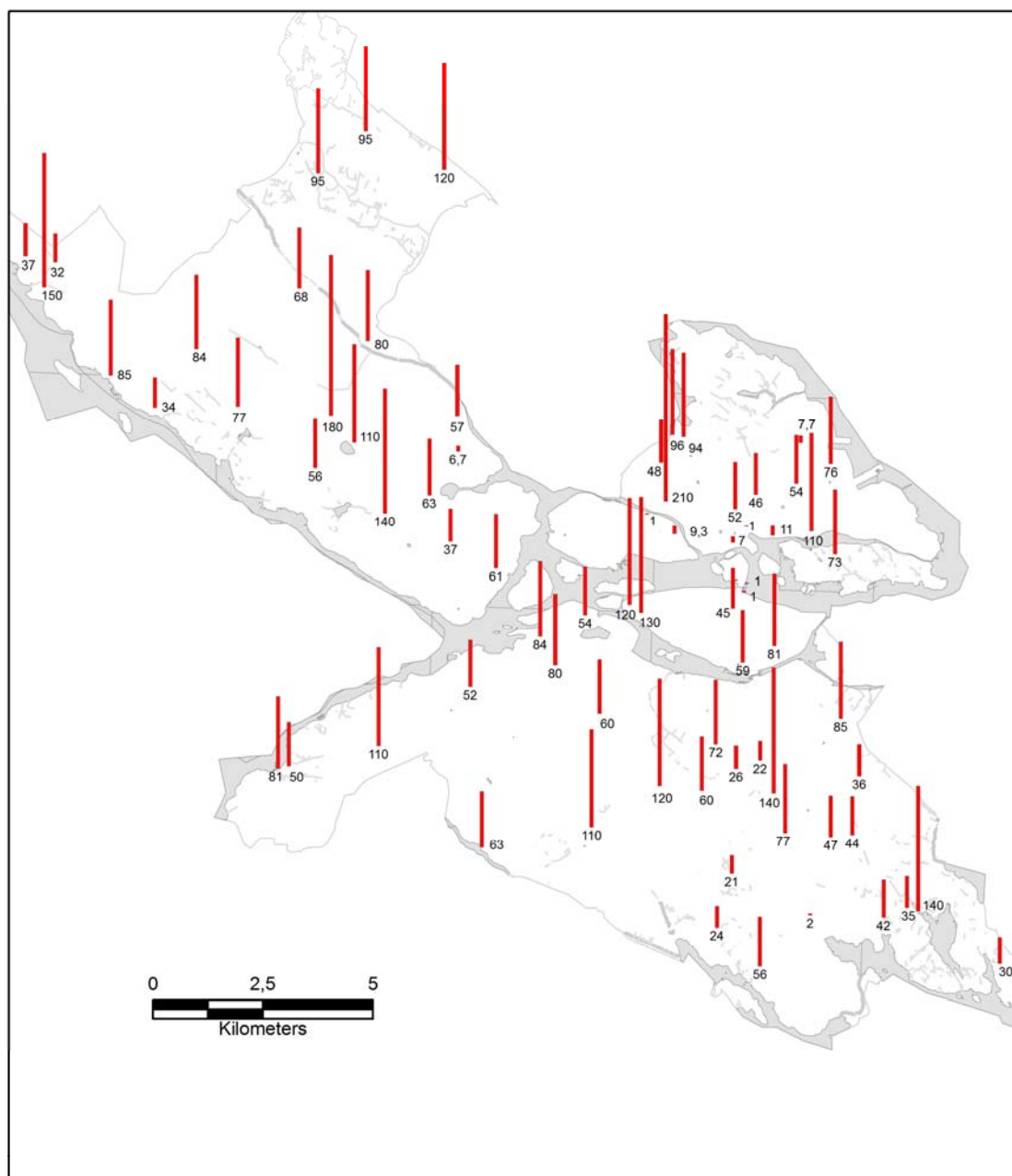


Figur 3. Konduktivitet ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

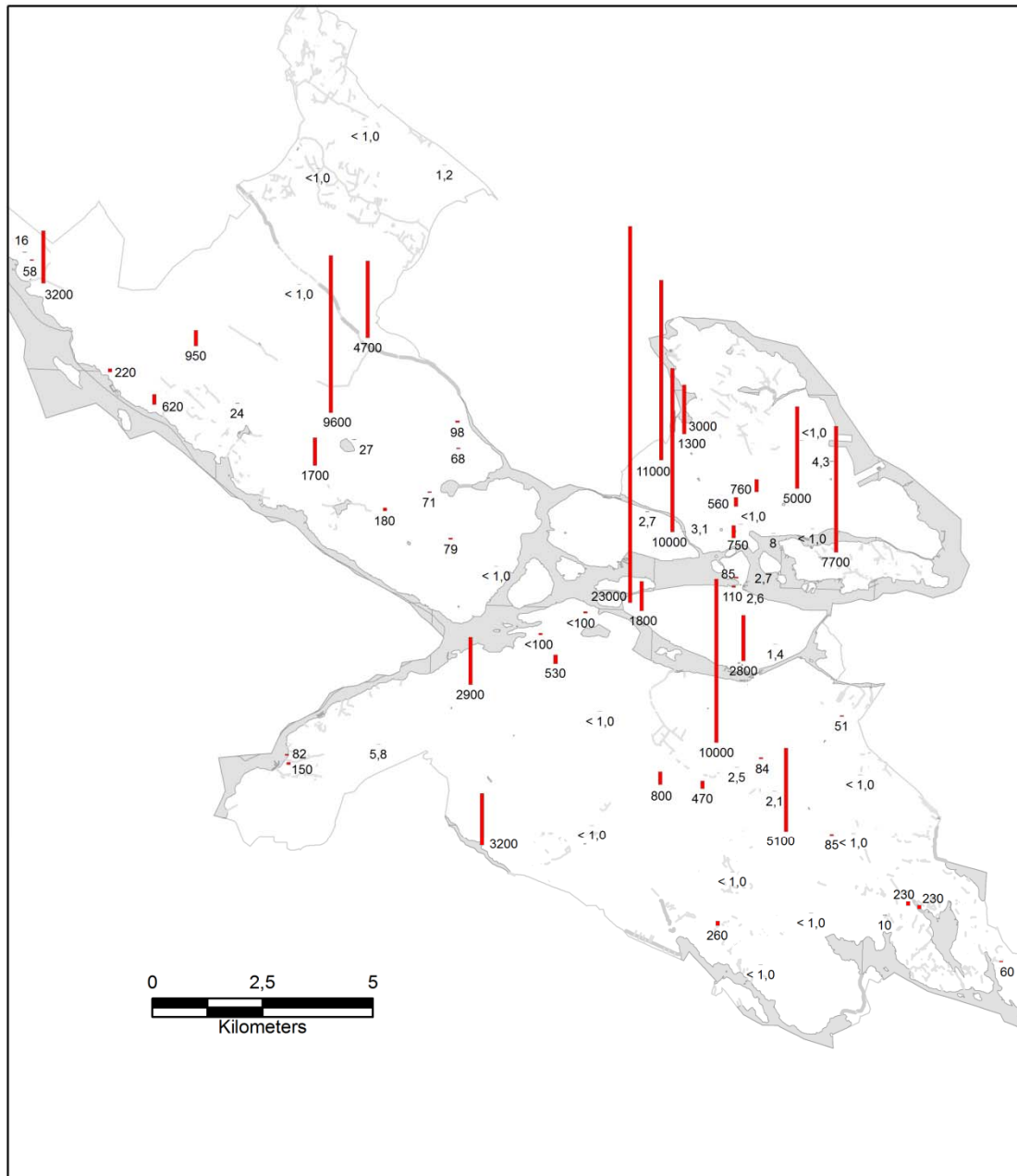
Salter, närsalter och organiskt kol



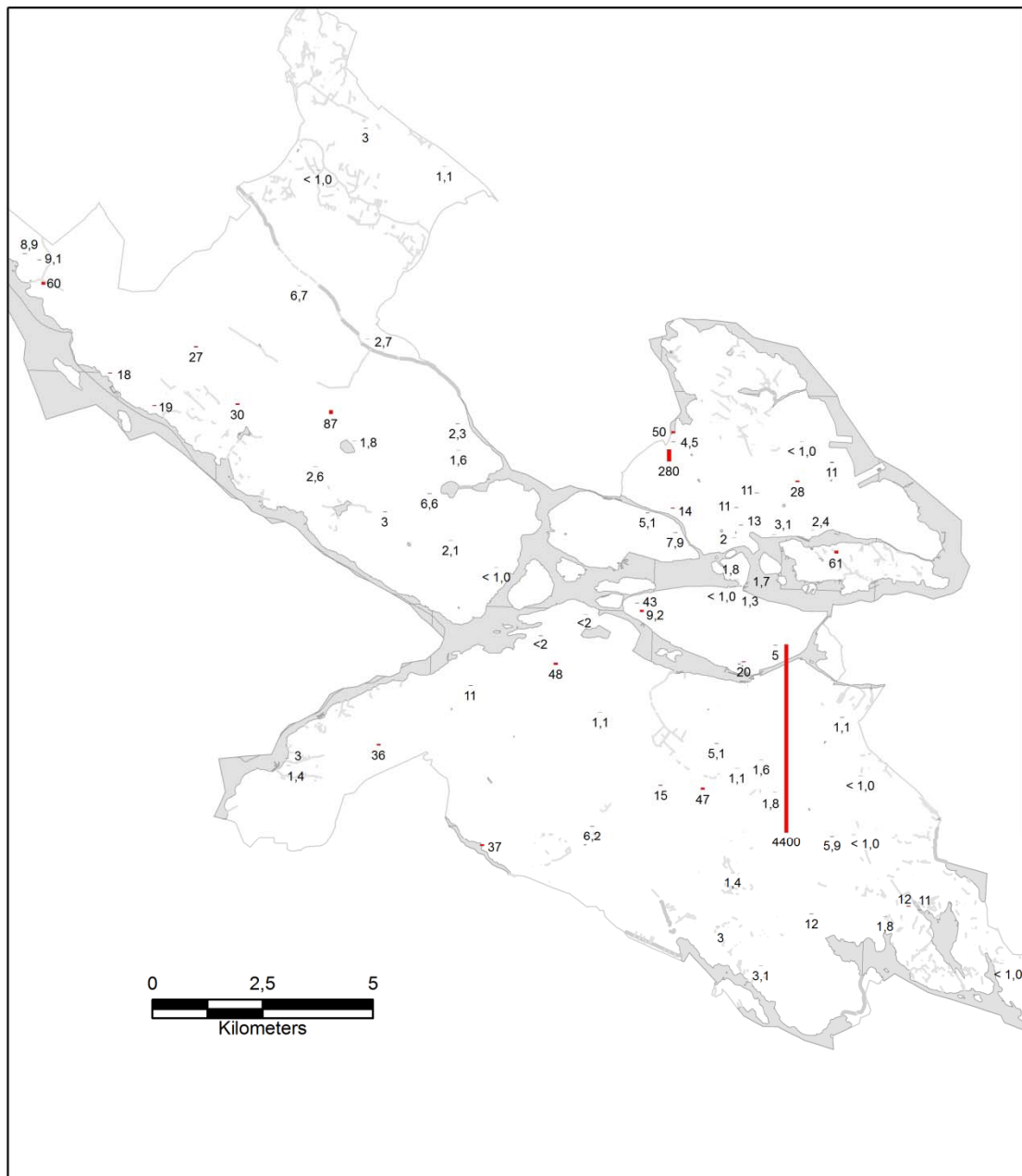
Figur 4. Klorid, ofiltrerat prov (mg/l).



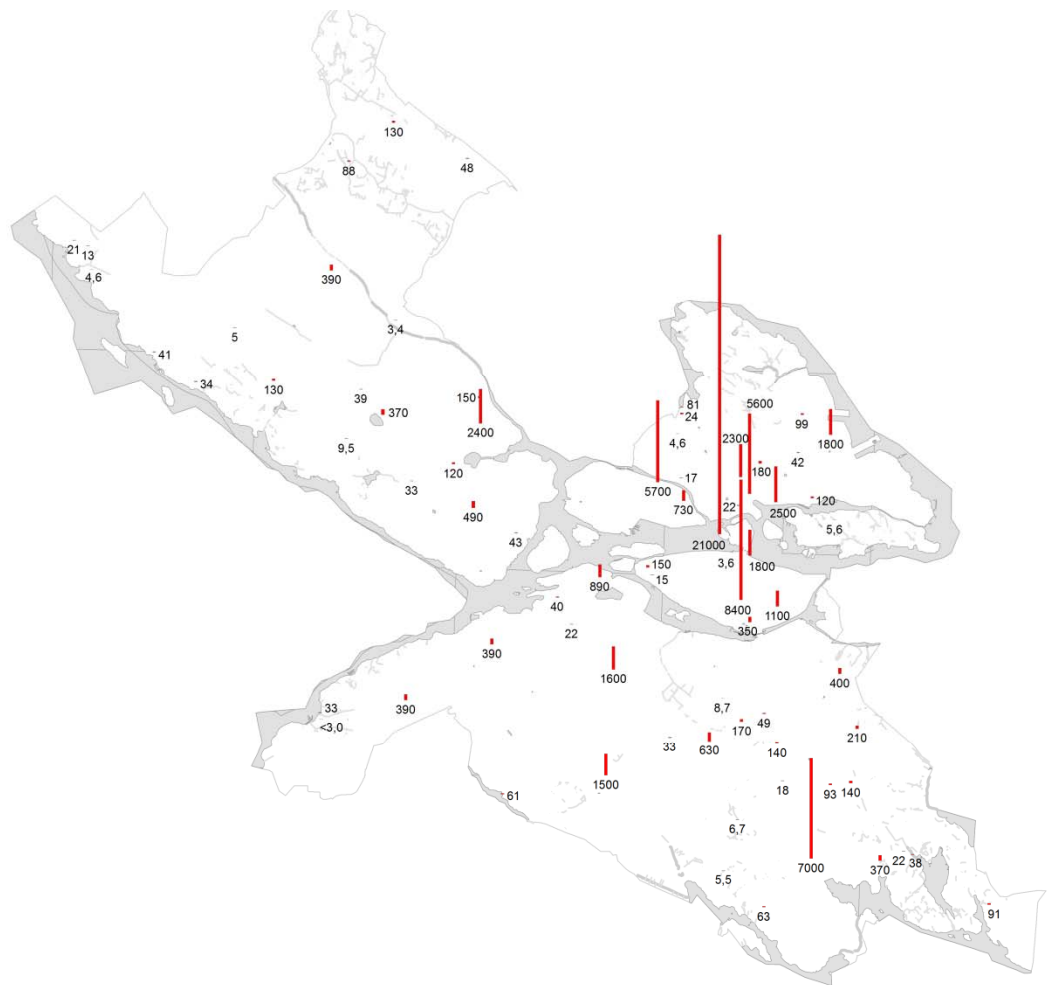
Figur 5. Sulfat, ofiltrerat prov (mg/l).



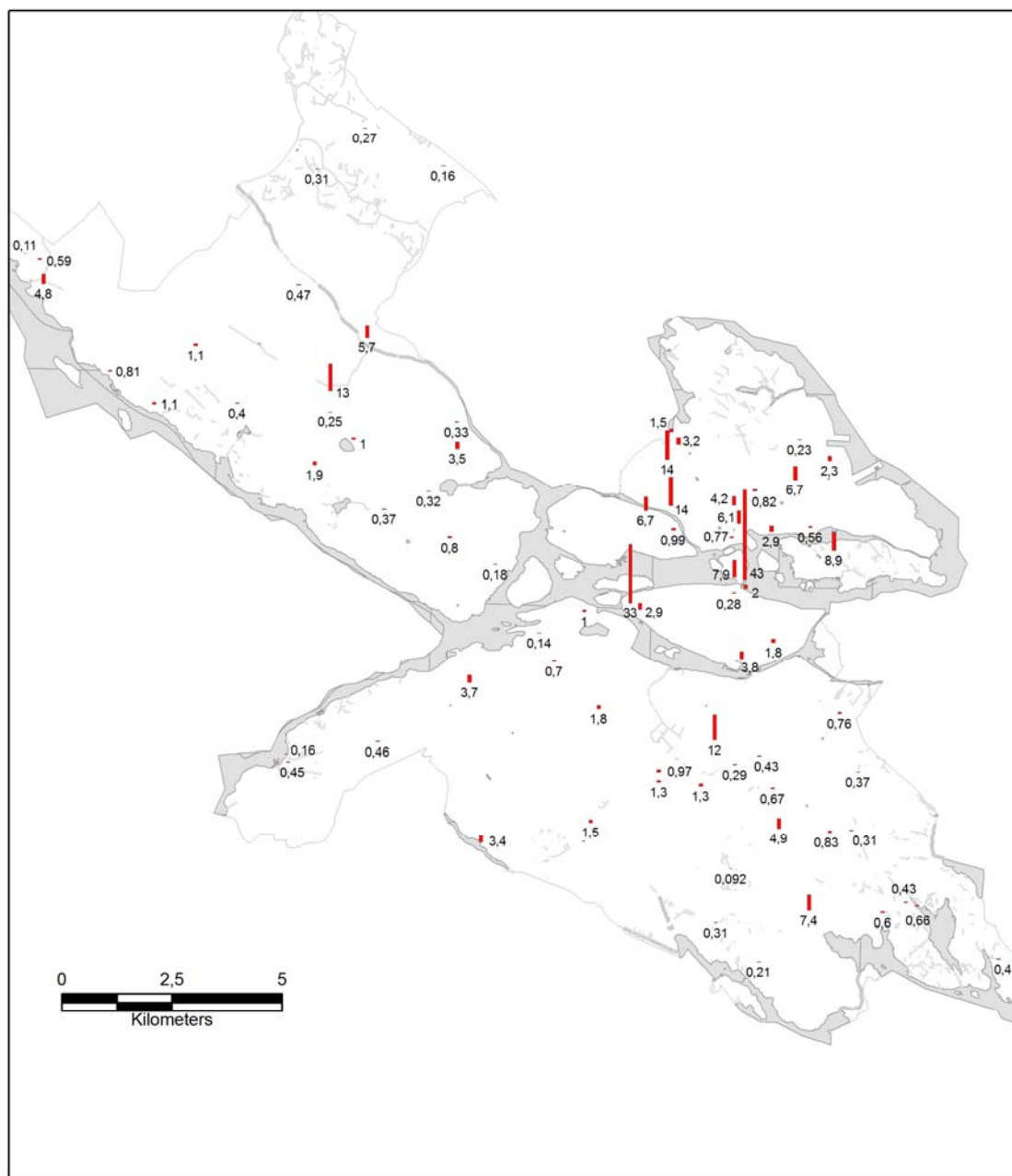
Figur 6. Nitrat-kväve, ofiltrerat prov ($\mu\text{g/l}$).



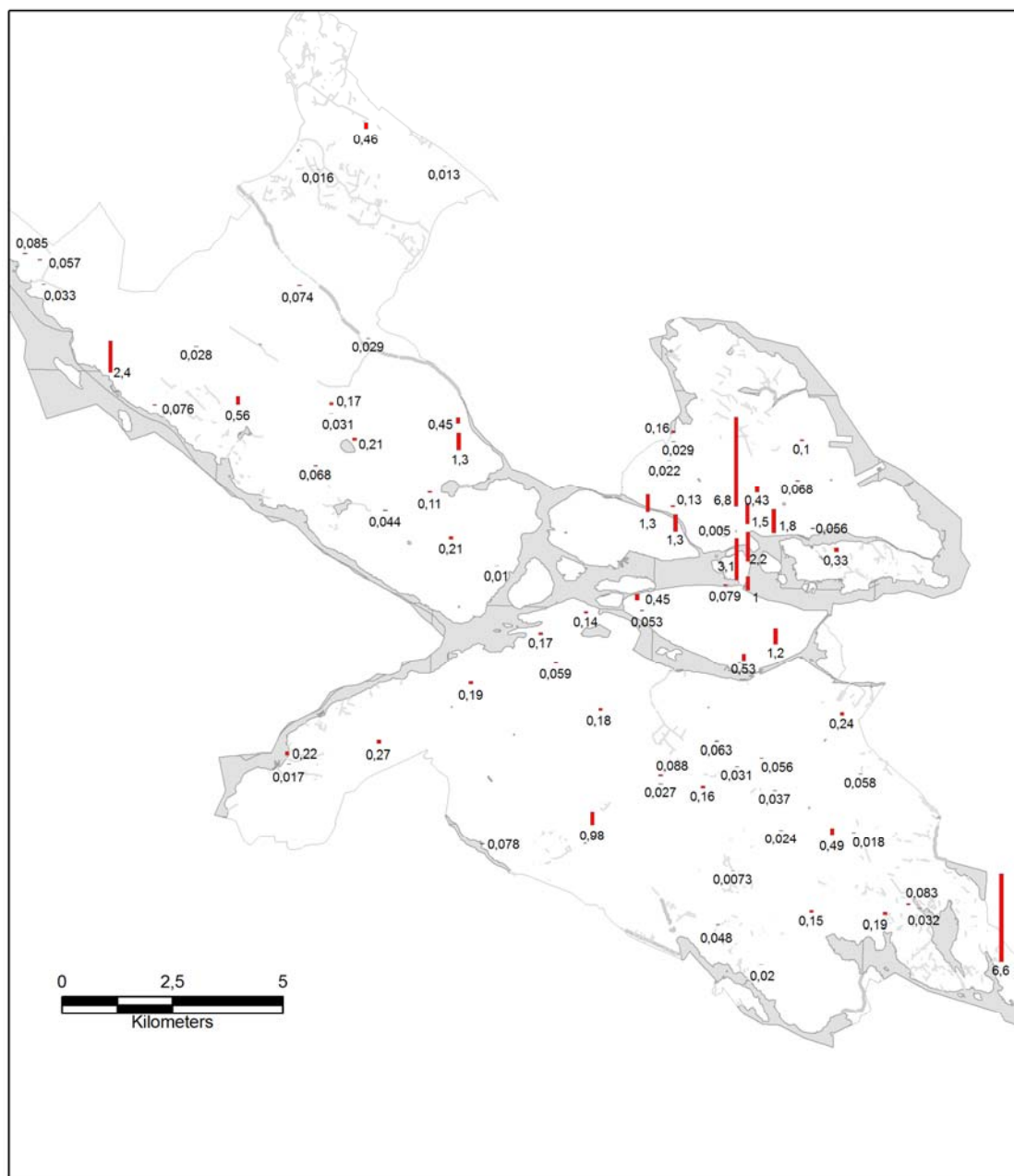
Figur 7. Nitrit-kväve, ofiltrerat prov (µg/l).



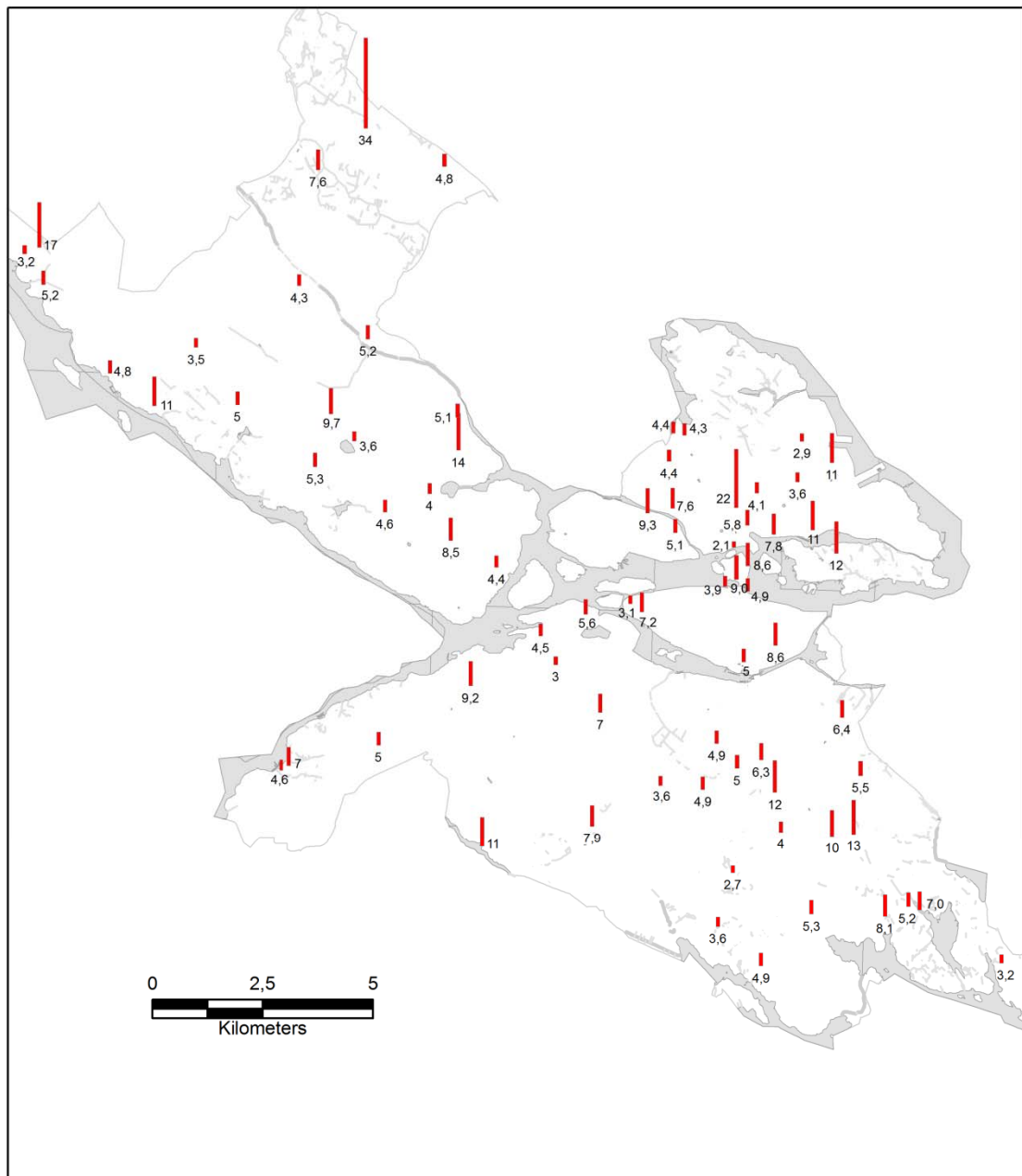
Figur 8. Ammoniumkväve, ofiltrerat prov (µg/l).



Figur 9. Total-kväve, ofiltrerat prov (mg/l).

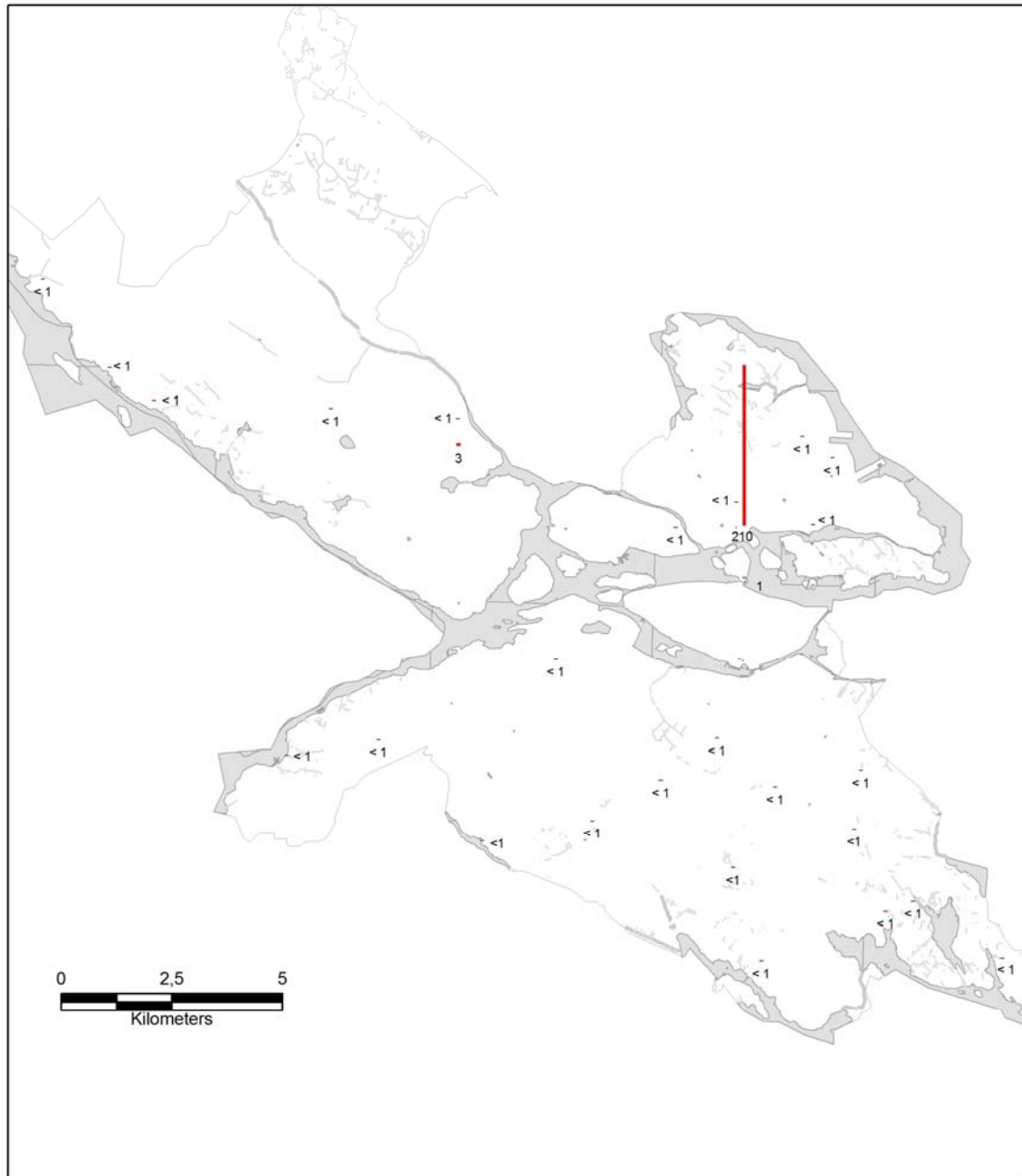


Figur 10. Total-fosfor, ofiltrerat prov (mg/l).



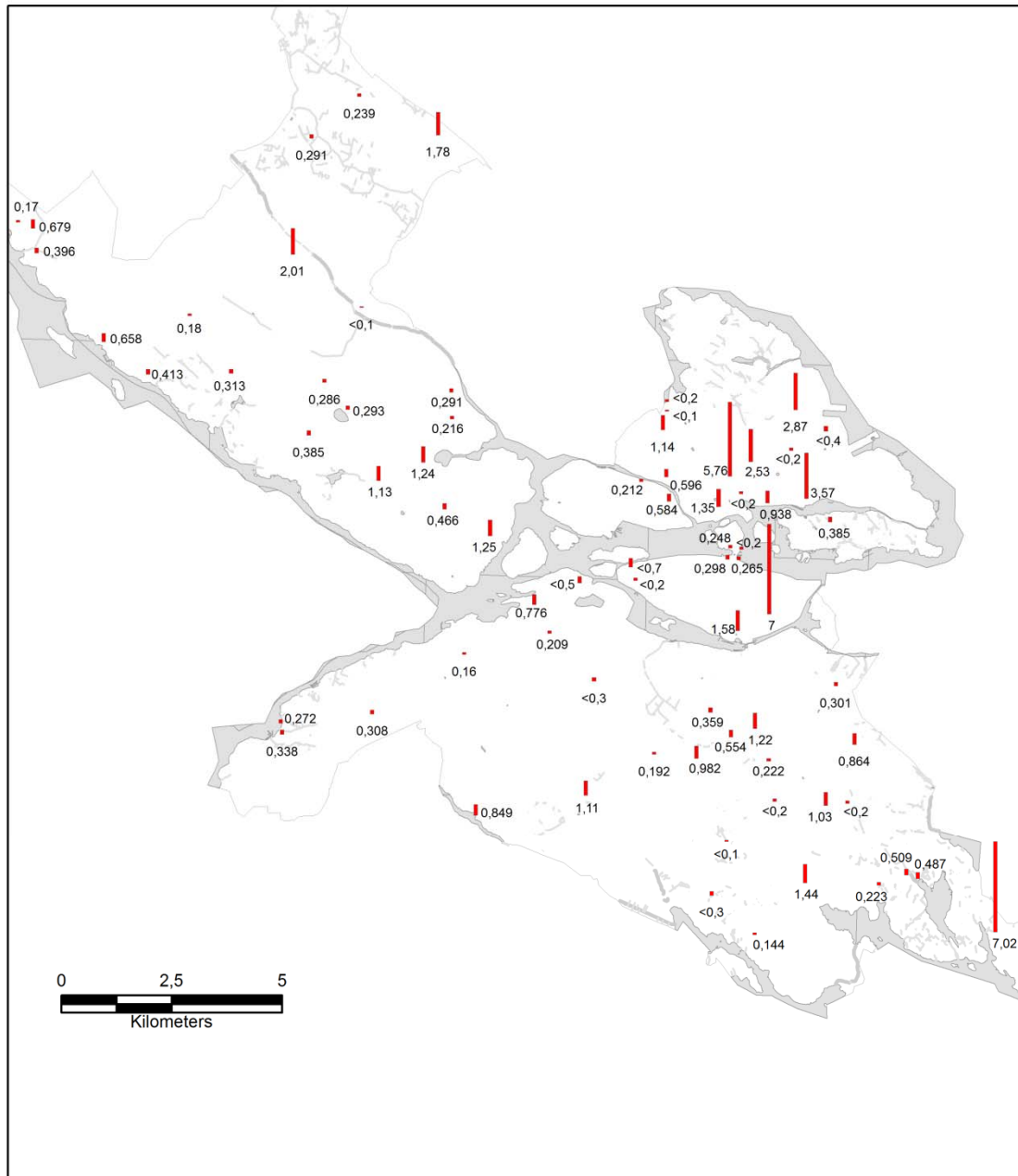
Figur 11. Organiskt kol (TOC), ofiltrerat prov (mg/l).

Bakterier

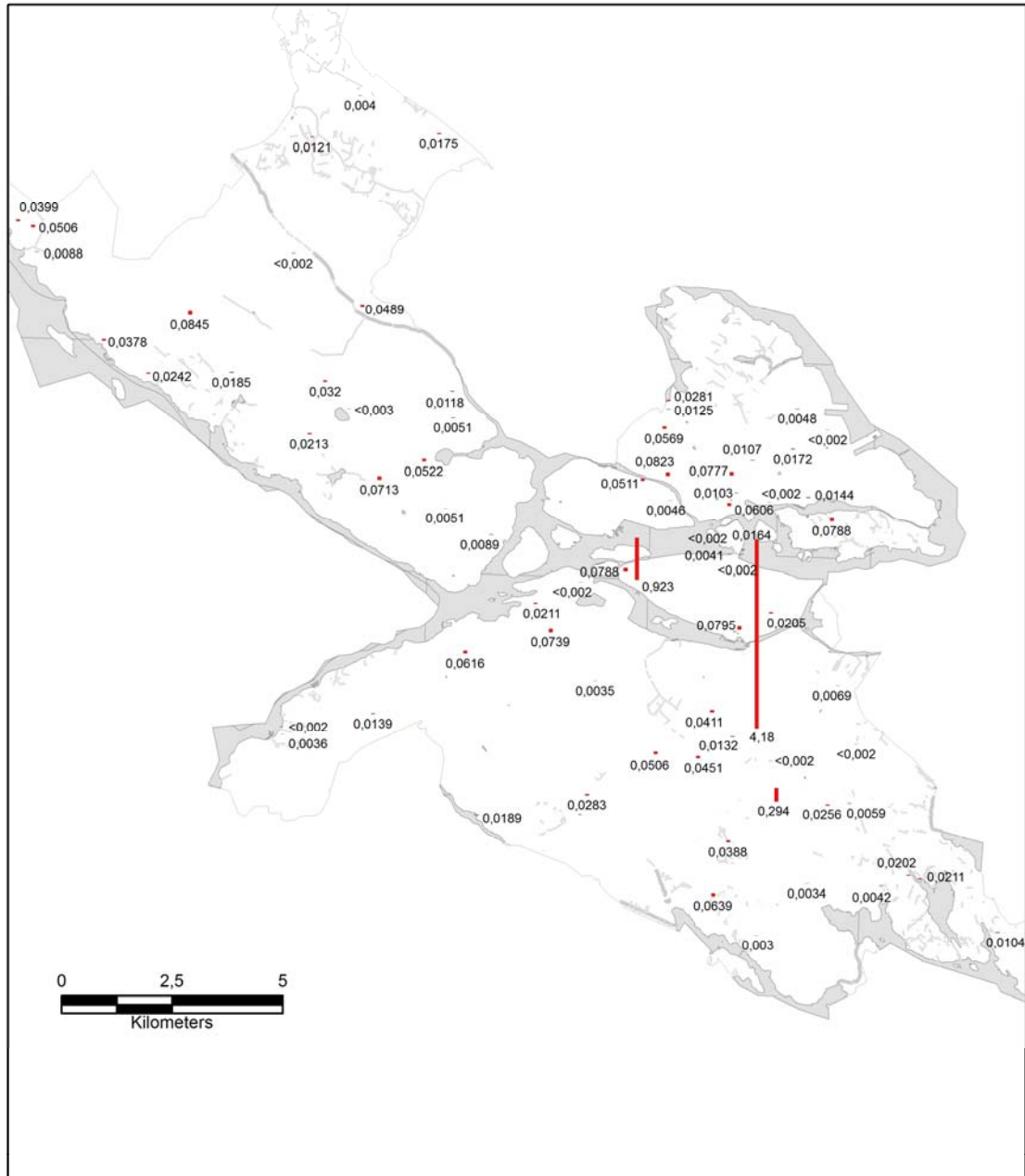


Figur 12. E.coli, ofiltrerat prov (antal/100ml).

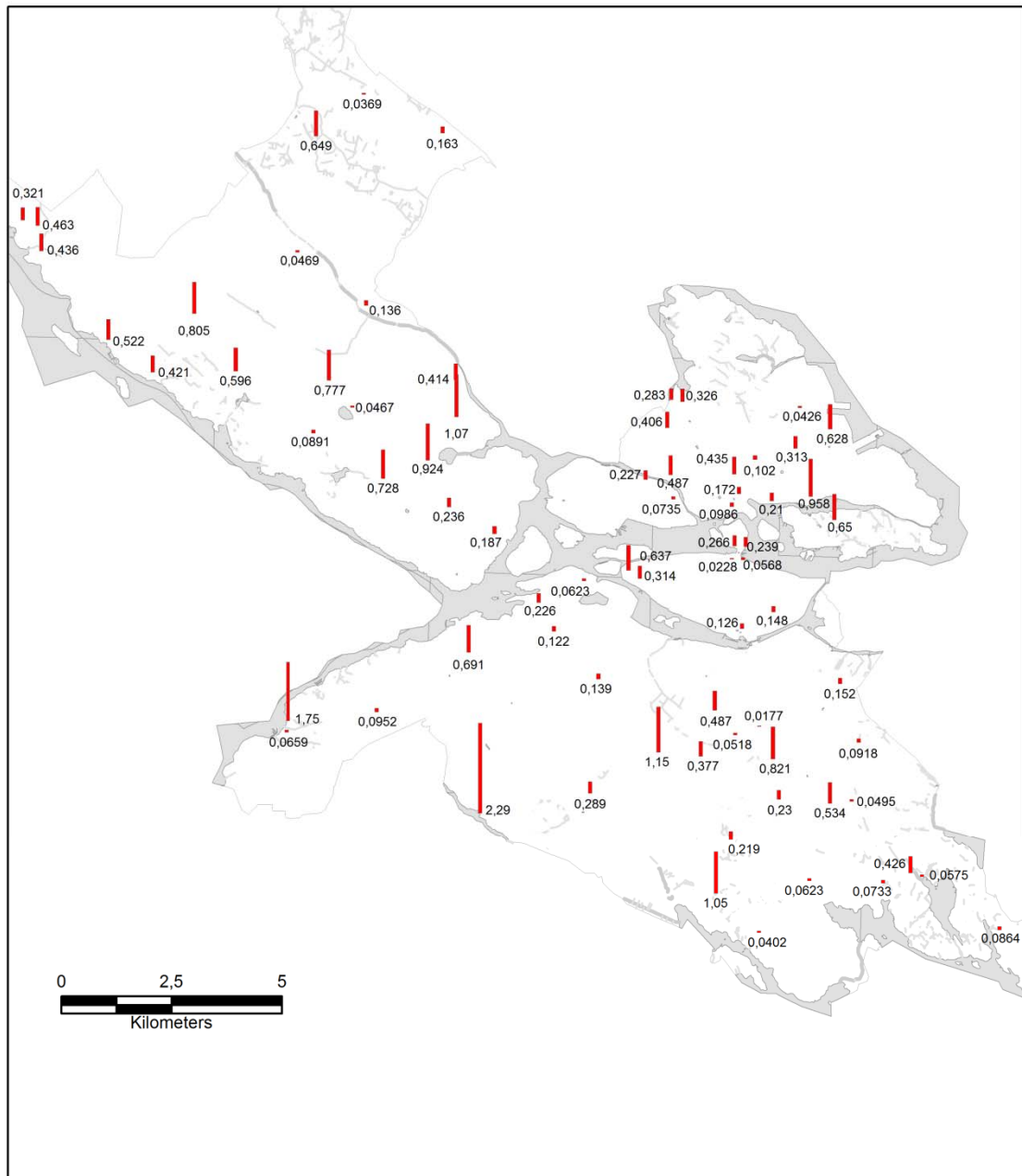
Metaller



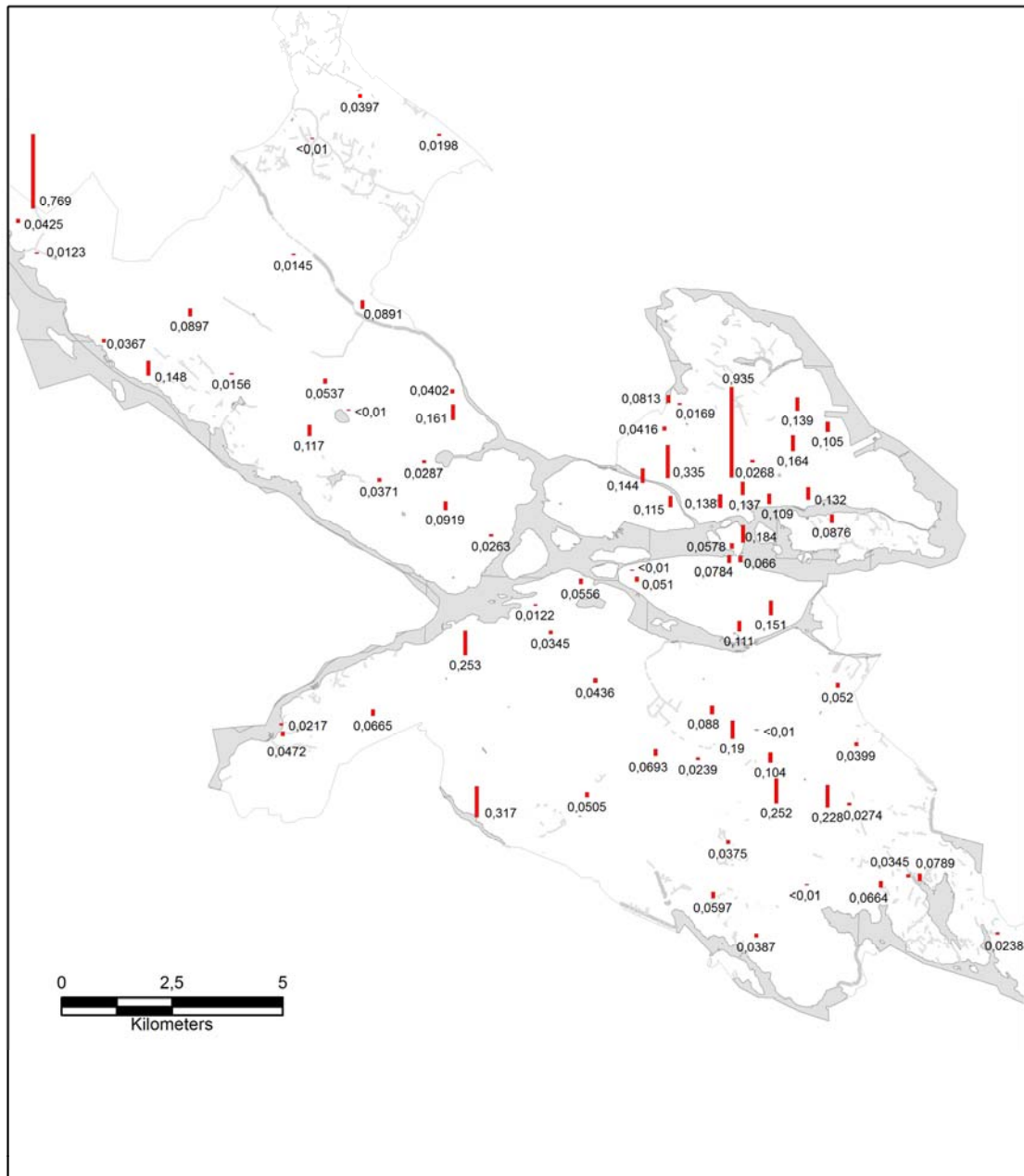
Figur 14. Arsenik, filtrerat prov (µg/l).

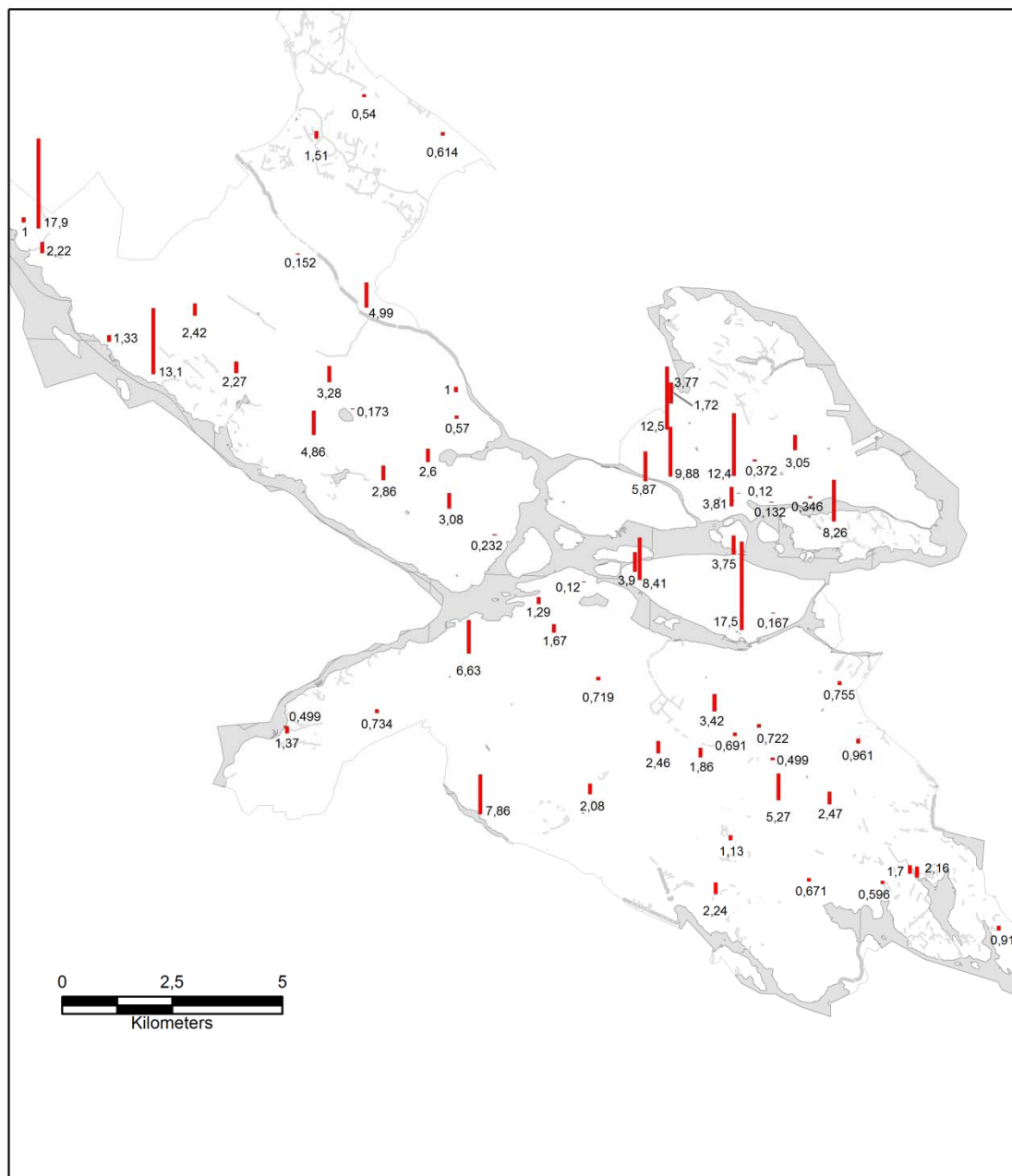


Figur 15. Kadmium, filtrerat prov ($\mu\text{g/l}$).

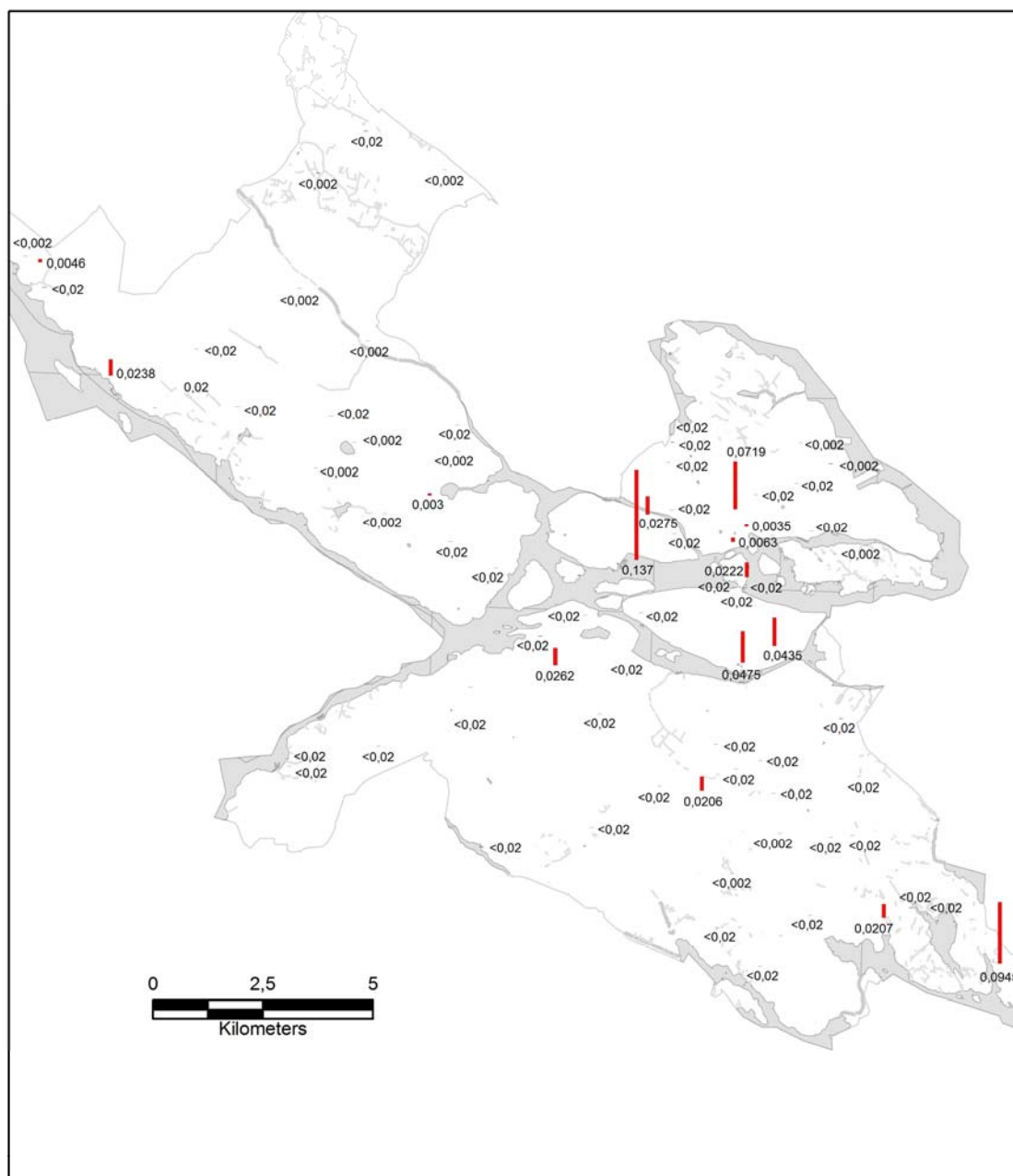


Figur 16. Kobolt, filtrerat prov ($\mu\text{g/l}$).

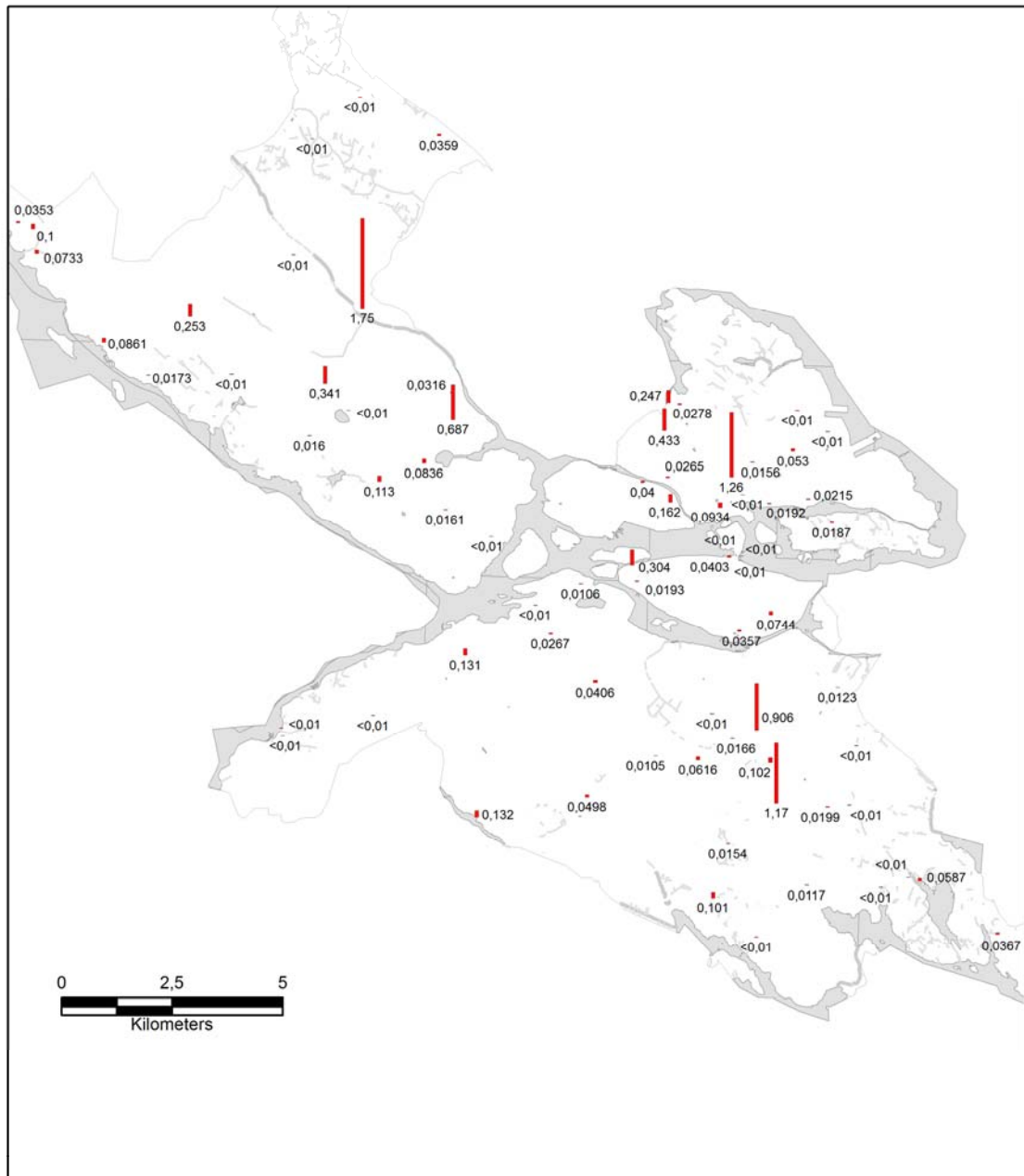




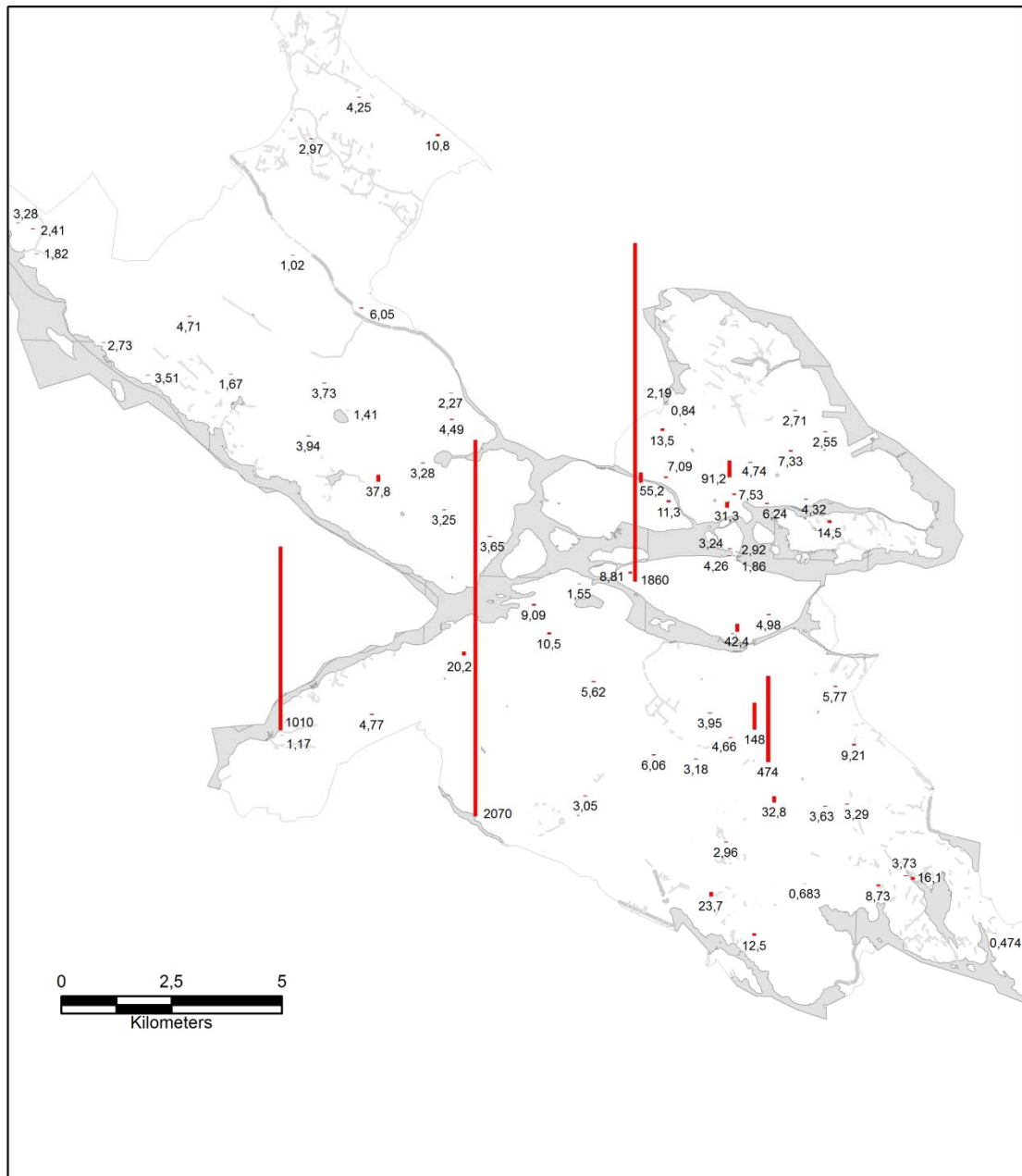
Figur 18. Koppar, filtrerat prov (µg/l).



Figur 19. Kvicksilver, filtrerat prov ($\mu\text{g/l}$).

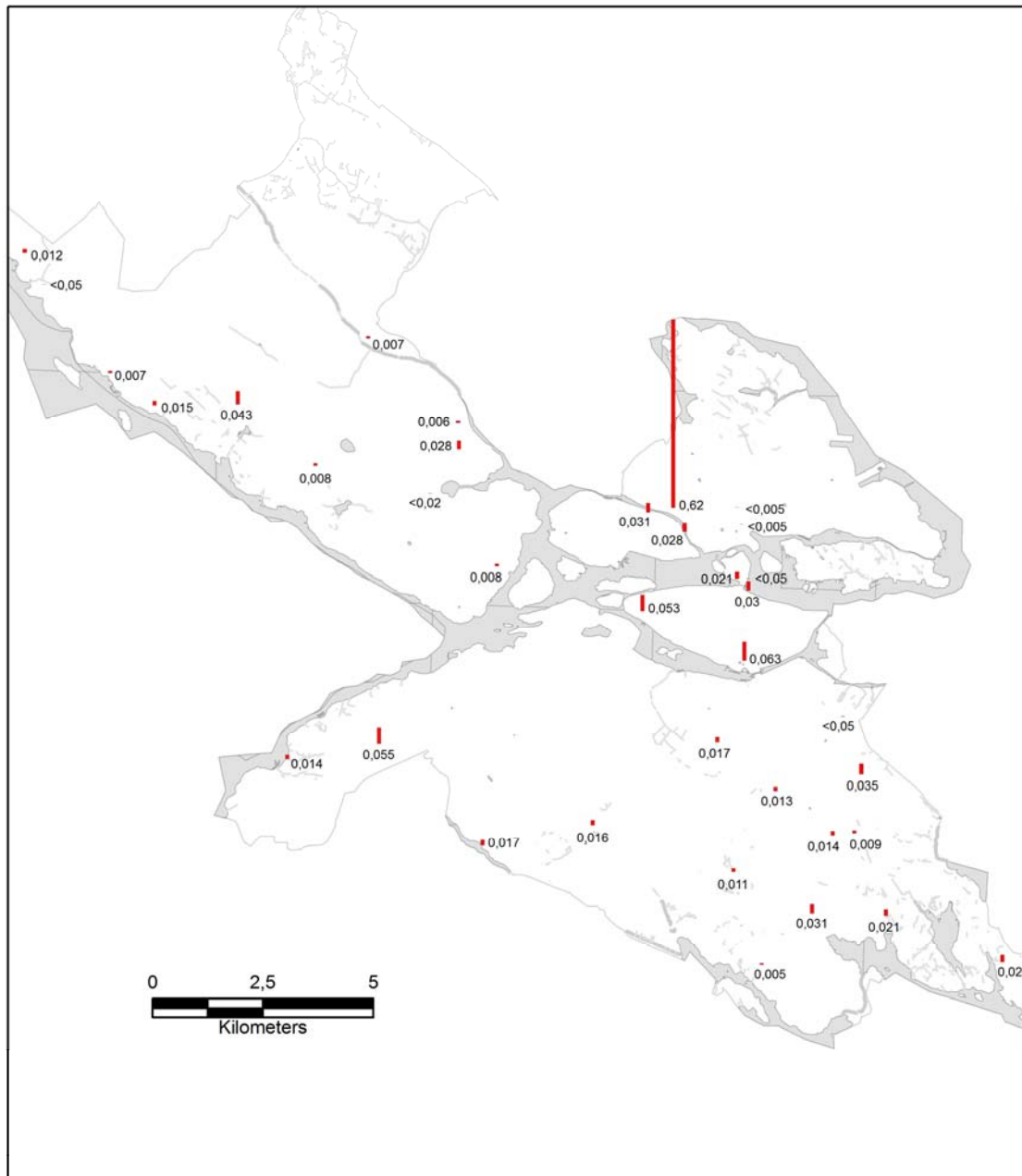


Figur 21. Bly, filtrerat prov ($\mu\text{g/l}$).



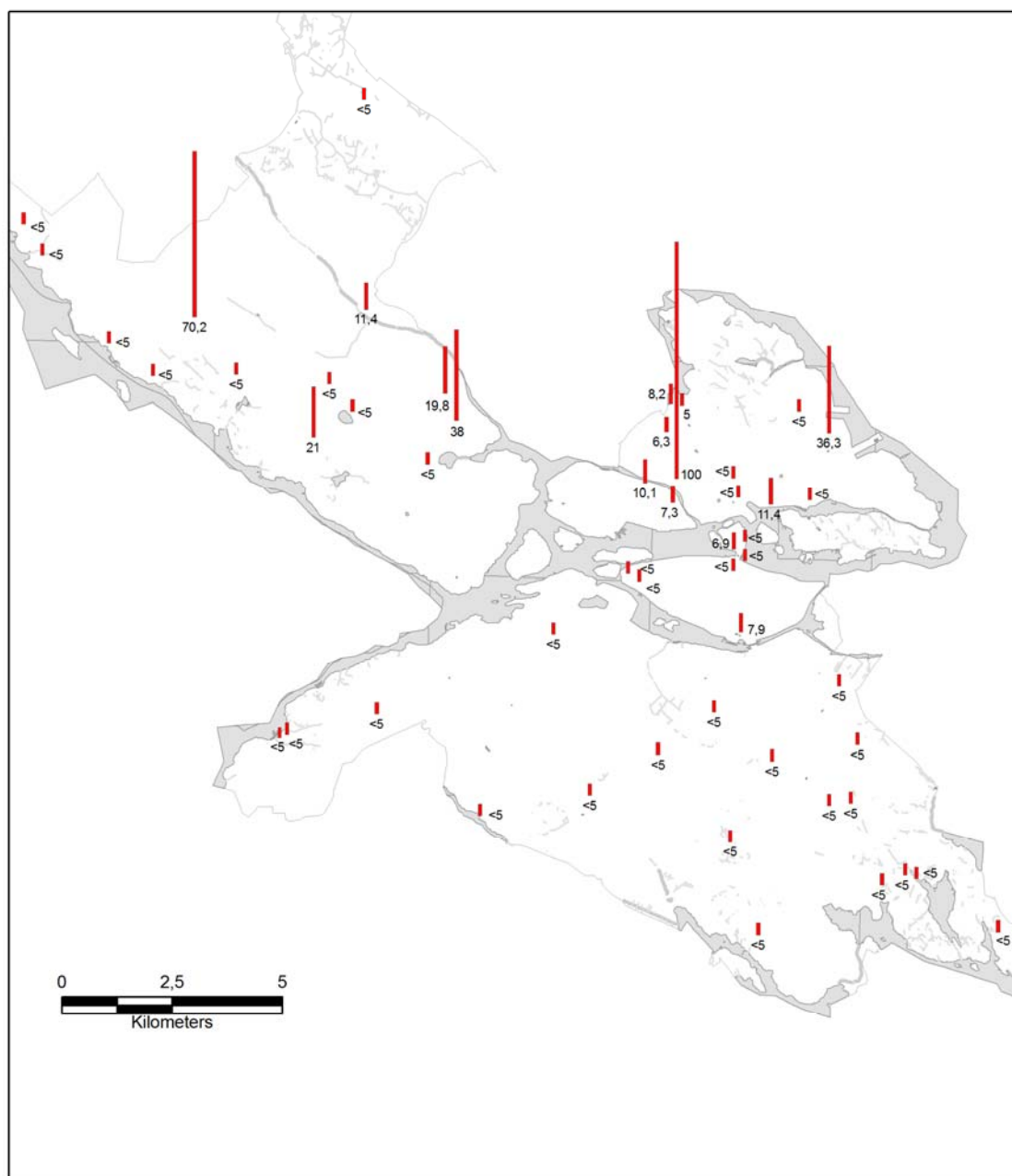
Figur 22. Zink, filtrerat prov (µg/l).

Koffein

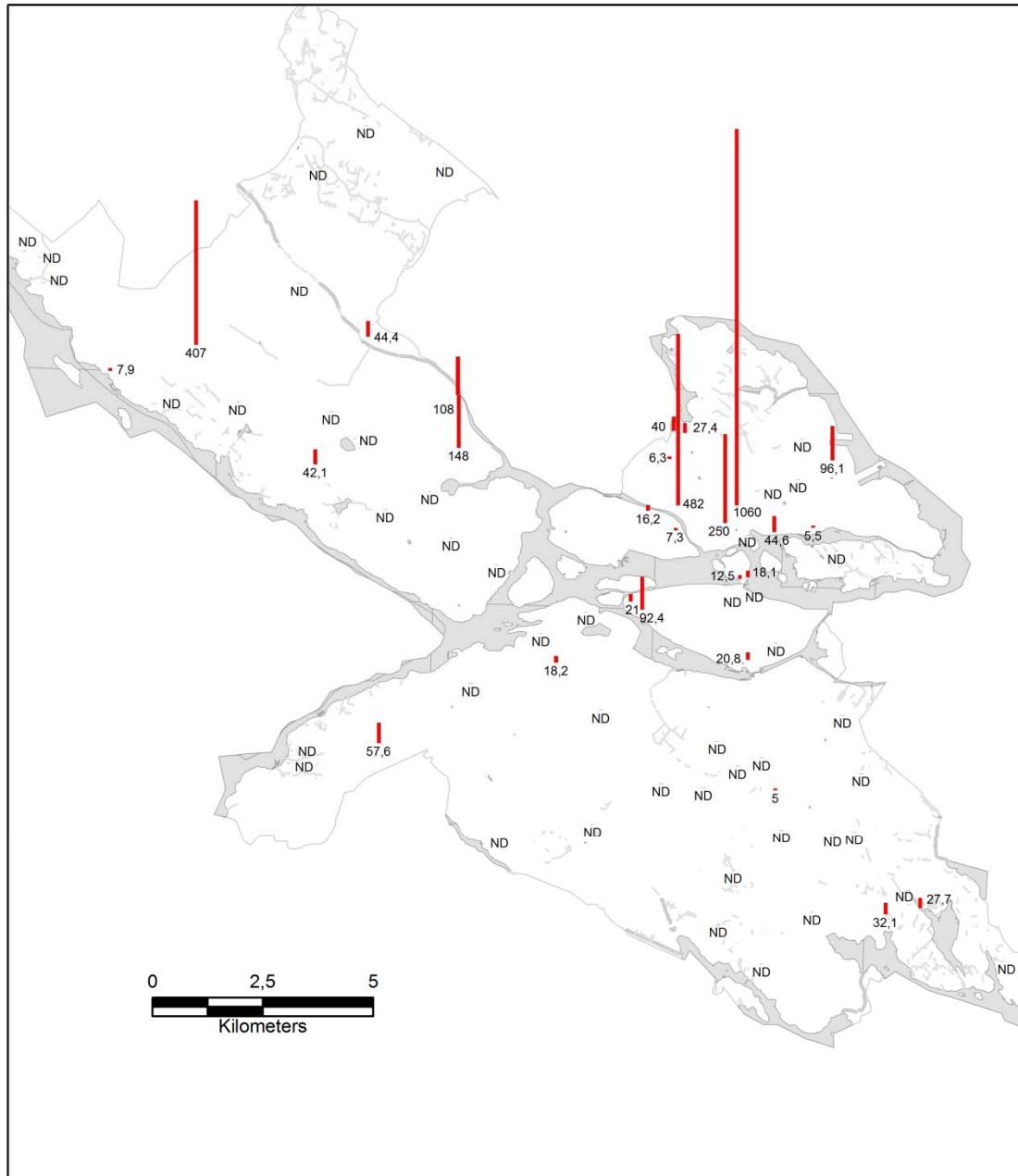


Figur 25. Koffein, ofiltrerat prov (µg/l).

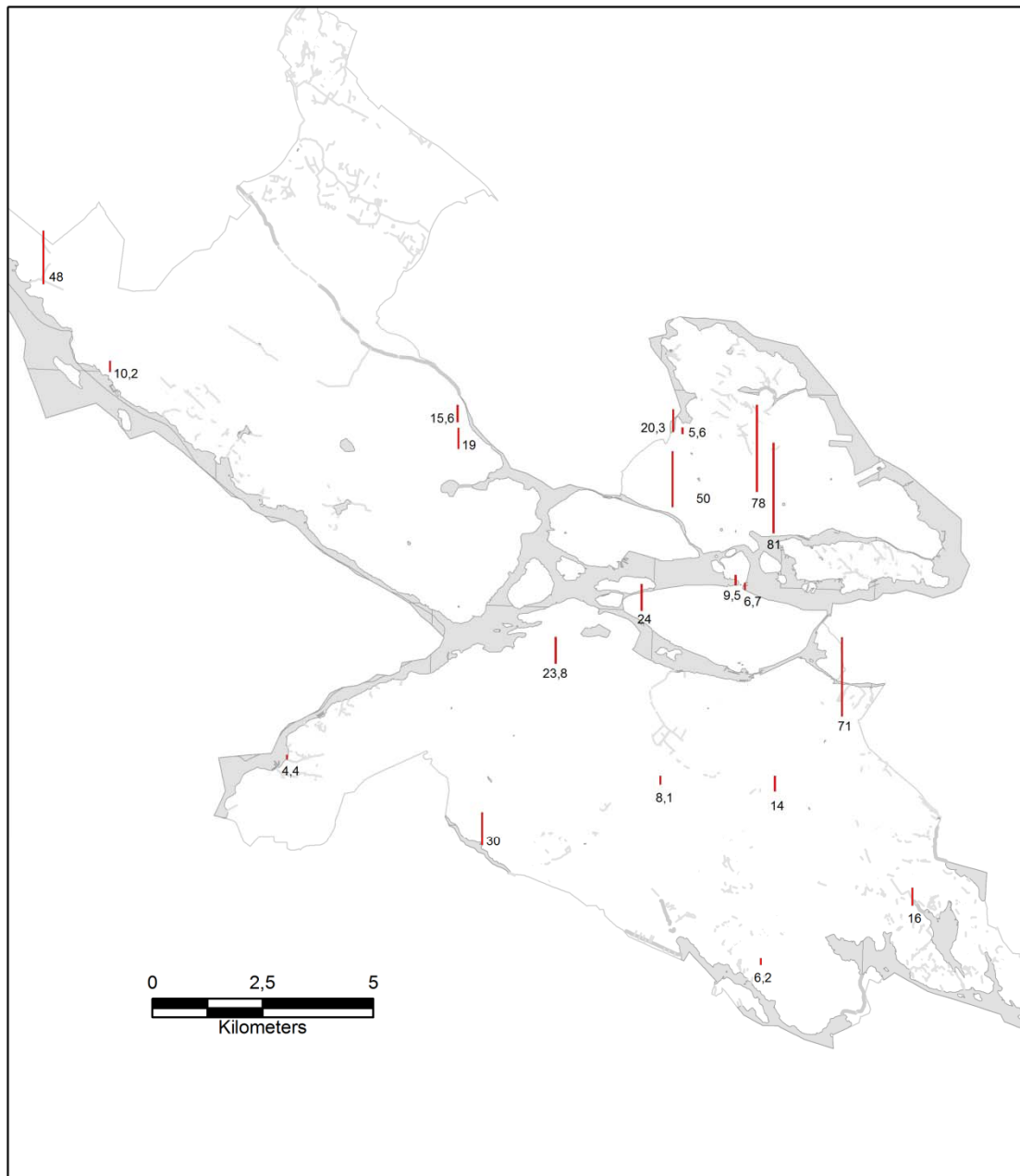
Perfluorerade ämnen



Figur 26. Perfluoroktansulfonat (PFOS), ofiltrerat prov (ng/l).

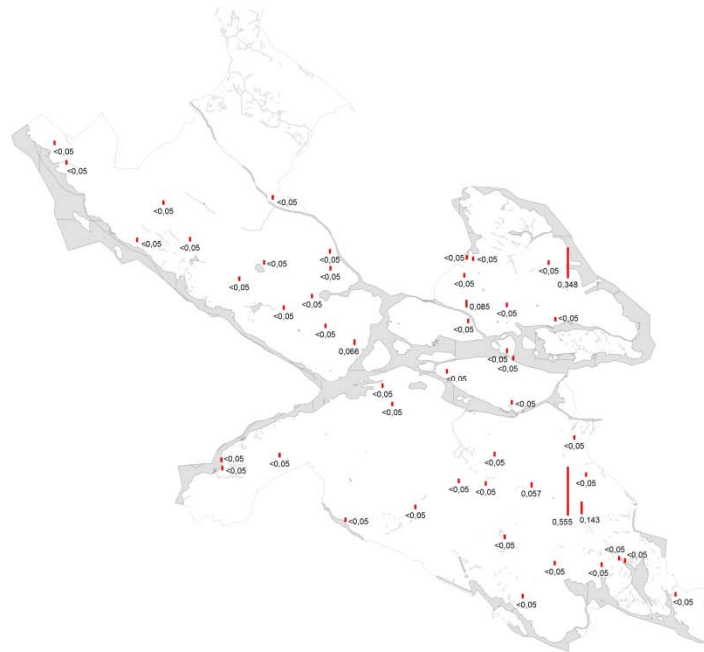


Figur 28. Summa mätta perfluorerade ämnen över rapporteringsnivå (Total PFC exklusive LOQ), ofiltrerat prov (ng/l). ND= not detected, i detta fall att mätta perfluorerade ämnen inte påvisats över rapporteringsnivå.

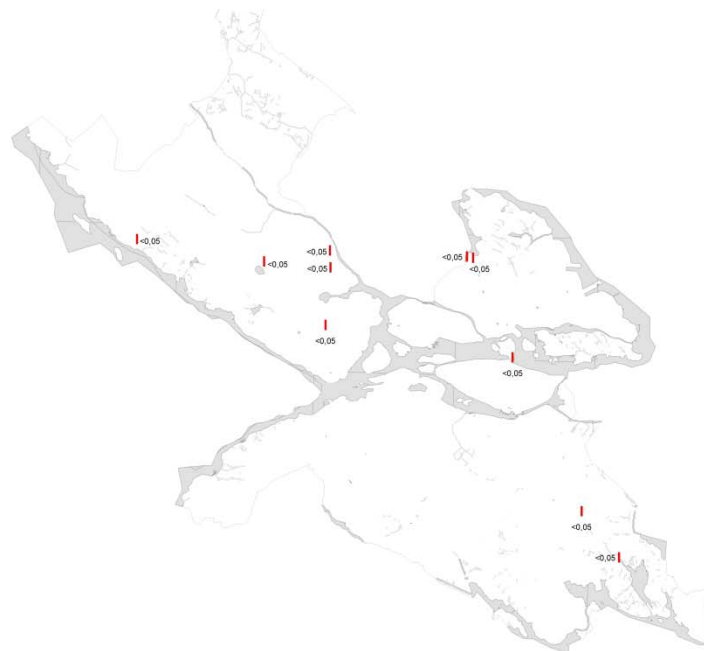
Tennorganiska föreningar

Figur 29. Summa mono-, di- och tributyltenn, inklusive rapporteringsgräns (summa maxhalt), ofiltrerat prov (ng/l). Rapporteringsgränsen var 1ng/l utom vid Hässelby strandbad (provpunkt 13) där den var 2 ng/l.

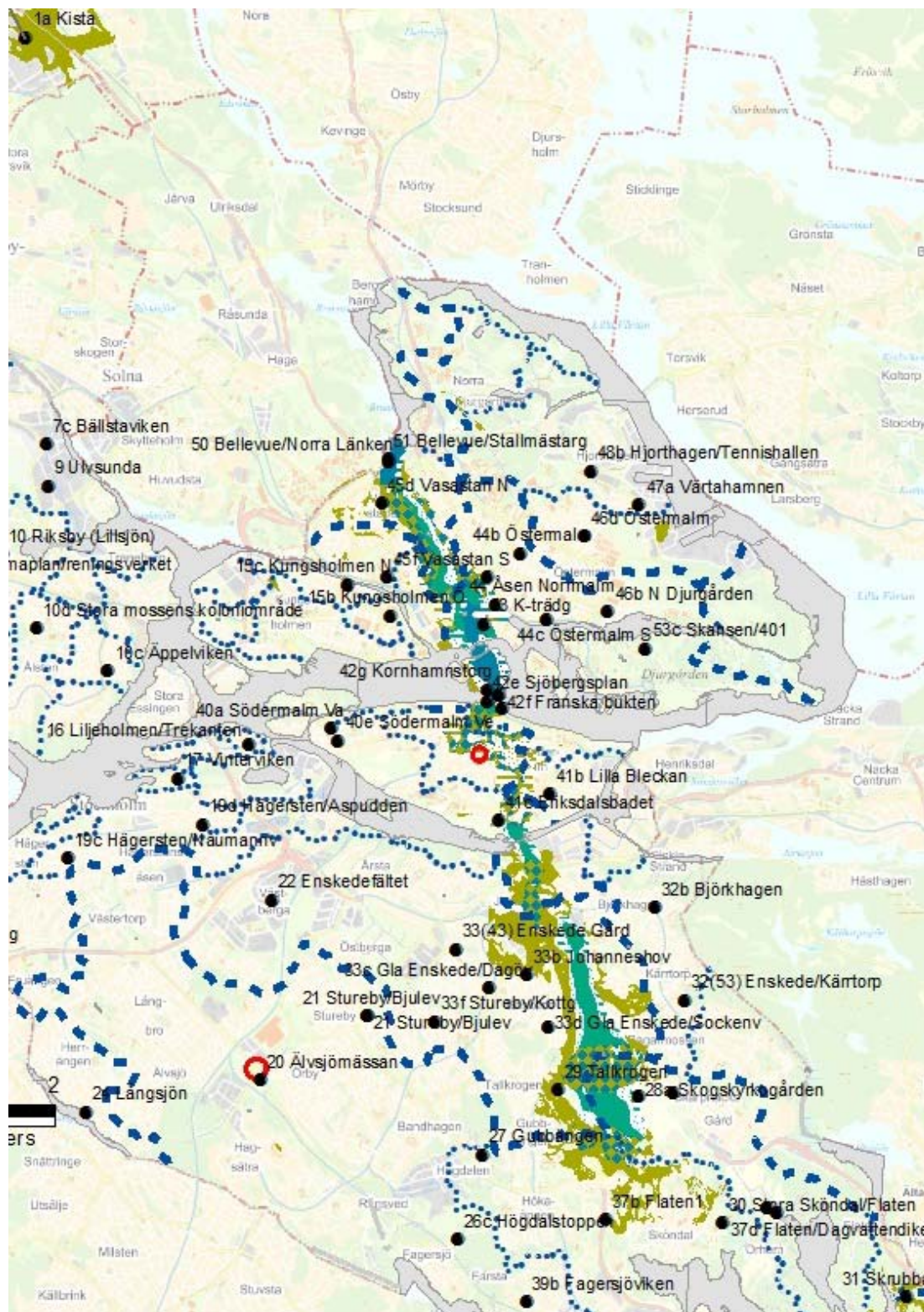
Bekämpningsmedel



Figur 31. 2,6-diklorbenzamid (BAM), ofiltrerat prov (µg/l).



Figur 32. Glyfosat, ofiltrerat prov (µg/l).



Figur 33. Karta över åsens utbredning inom Stockholms stad. Blågrönt är åsmaterial, gulgrönt är växellagrade material (sand, silt, ler) kartlagt på 30-50cm markdjup. Eftersom åsen har större utbredning på djupare nivåer i marken och grundvattenrörnar in vatten på djupare nivå är det troligt att rör i anslutning till de områden som på kartan markerats som ås får sitt grundvatten från åsen. Breda streckade blå linjer visar huvudvattendelare för yt- och grundvatten, tunna streckade linjer lokala grundvattendelare. Röda cirklar visar punkter där det sker dränering av grundvatten till tunnlar och dagvattensystem, som påverkar grundvattnets strömningsriktning. Blekt röda stråk visar trafikintensiva vägar. Historiskt har vägar ofta följt rullstensåsarnas krön, eftersom dessa naturligt ger fast mark och har en gles tallskog, i omgivningar av sankmarker och tätare vegetation. Bebyggelsen låg också ofta vid åsar, eftersom det där var lätt att få bra dricksvatten, och det var mellan olika bebyggelseområden som vägarna ledde. De gamla vägarna har under århundradena utvecklats till större vägar, vilket kan vara en förklaring till att vi än idag har flera större och vältrafikerade vägar som följer åsens riktning.

Kvalitetssäkring och statistisk bearbetning av grundvattendata från Stockholm Stad

2013-02-05

Denna rapport är upprättad av:
Niclas Johansson (Fil Dr) och Marie Kruså (Fil Dr)

Kontakt:
Niclas Johansson
Projektledare

NIRAS Environment
Fleminggatan 14, 9 tr
Box 70375
107 24 Stockholm, Sweden
Telefon; +46 (0)8 545 533 25
Mobil; +46 (0)70 300 90 34
Fax: +46 (0)8 545 533 33

INNEHÅLL

1. SYFTE	5
2. FÖRETAGSUPPGIFTER NIRAS ENVIRONMENT	5
3. KVALITETSSÄKRING AV MÄTDATA	5
3.1. Provtagningsplatser, analysparametrar och tidsserier	6
3.2. Jonbalans som granskningsmetodik i denna studie	6
3.3. Resultat från jonbalansberäkningen	7
4. STATISTISK BEARBETNING	9
4.1. Metod	9
4.2. Resultat.....	9
4.2.1. Grundvattendata från 2012 – principalkomponentanalys (PCA).....	9
4.2.2. Grundvattendata från 2003 – principalkomponentanalys (PCA).....	13
4.2.3. Grundvattendata från 1997 – principalkomponentanalys (PCA).....	15
5. JÄMFÖRELSE AV PARAMETRAR ÖVER TIDEN	19
5.1. Organiska miljögifter i Stockholms Stads grundvatten	19
5.1.1. Jämförelse av halter di-(etylhexyl)-ftalat från 2003 och 2012	20
5.1.2. Jämförelse av halter PAH summa 16 från 1997 och 2012	21
5.2. Metaller och andra oorganiska kemiska parametrar	21
6. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	22
7. REFERENSER	24

BILAGOR

Bilaga 1A: Resultat från jonbalansberäkning med mätdata från 2012 års grundvattenstudie

Bilaga 1B: Resultat från jonbalansberäkning med mätdata från 2003 års grundvattenstudie

Bilaga 1C: Resultat från jonbalansberäkning med mätdata från 1997 års grundvattenstudie

Bilaga 2: Resultat och figurer för jämförelser av halter från 1997, 2003 och 2012 års studier

1. SYFTE

På uppdrag av Miljöförvaltningen Stockholms Stad har NIRAS Environment fått i uppdrag att göra en kvalitetssäkring av grundvattendata från tre större undersökningar genomförda av Stockholm Stad samt att göra statistisk bearbetning med bland annat multivariat analys för att om möjligt kunna särskilja olika typer av grundvatten. Man skulle kunna tänka sig att grundvatten i åsen skiljer sig från andra grundvatten eller att trafik eller andra specifika påverkansfaktorer skulle kunna synas tydligare på vissa platser än andra. Vidare i uppdraget ingick att undersöka trender över tiden.

2. FÖRETAGSUPPGIFTER NIRAS ENVIRONMENT

NIRAS Johan Helldén AB:s verksamhet bedrivs enligt ett ledningssystem som är kvalitetscertifierat enligt SS-EN ISO 9001:2008 (certifikat nr 30875) och miljöcertifierat enligt SS-EN ISO 14001:2004 (certifikat nr 1421266). Ledningssystemet har granskats av Intertek Certification AB.

3. KVALITETSSÄKRING AV MÄTDATA

Miljötekniska markundersökningar består i att undersöka olika medier (jord, porluft, grundvatten, sediment) och med erhållna resultat från mätningarna kunna bedöma om marken är förorenad på något sätt samt att rekommendera eventuella åtgärder för att minska en förorenings-spridning. Det är viktigt att man väljer rätt provtagningsmetoder som är lämpliga för det aktuella mediet (i detta fall grundvatten) och som i liten utsträckning påverkar de kemiska och fysikaliska egenskaperna hos mediet. Kvaliteten hos insamlad data påverkas bland annat vid felaktigt vald metod och felaktigt handhavande av utrustning eller instrument (Naturvårdsverkets rapport 4667). Bristande provhantering kan påverka kvaliteten hos mätdata i samband med provmärkning, provberedning, felaktig förvaring mm. Det är vanligt att man kombinerar laboratorieanalyser med fältanalyser som provtagaren utför direkt i fält vid provplatsen. Detta gör man för att få ett snabbt resultat, insamla mer data och för att i möjligaste mån sänka kostnaderna för analyserna. Dock så kan tillförlitligheten av data insamlade i fält påverkas negativt då dessa instrument kräver en viss förståelse från operatören och att kalibrering av instrumentet behöver utföras regelbundet för att vara säkra på att korrekta mätvärden rapporteras. Kvalitetskraven av mätdata behöver inte alltid vara höga men de ska alltid uppfylla rätt specificerade krav ställda från början innan den miljötekniska markundersökningen startades. Med andra ord är det data av *rätt* kvalitet som eftersträvas. Datakvaliteten är avgörande för att man ska kunna göra en säker bedömning av i detta fall grundvattenkvaliteten på de olika undersökta platserna (Naturvårdsverket rapport 4667). Mänskliga fel som att notera fel enhet för ett analys-svar, som milligram per liter istället för mikrogram per liter, kan också förekomma; fel som kan uppdagas genom en kvalitetsgranskning.

En bedömning av den insamlade mätdata bör göras innan den används vidare i statistisk bearbetning. I den här rapporten användes jonbalansberäkning för att upptäcka eventuella felaktigheter hos insamlad mätdata.

3.1. Provtagningsplatser, analysparametrar och tidsserier

Mätdata insamlade för ett stort antal provtagningspunkter för grundvatten över hela Stockholm Stad har använts i denna rapport. För att säkerställa att rätt kvalitet på data används vidare i den statistiska bearbetningen där bland annat multivariat analys användes för att skilja ut grundvatten av olika karaktär, upprättades en jonbalansberäkning. Resultatet från denna beräkning beskrivs i sektion 3.

Totalt är det 76 antal platser som har ingått i undersökningen från år 2012. En del av dessa provpunkter (13 st.) mättes både på vår/sommar (maj-juni 2012) och på höst/vinter (nov 2011-jan 2012) för att om möjligt urskilja säsongsvisa olikheter i grundvattnets kemi. Ingen statistiskt test har gjorts för att utröna om det finns säsongsvisa skillnader i grundvattenkemin. Under år 2003 ingick 35 mätstationer (provtagna vid ett tillfälle 2003 eller 2004) medan år 1997 var det 75 platser som undersöktes (provtagna vid ett tillfälle 1996 eller 1997). Vid en del av provtagningspunkterna har provtagning och analys av grundvatten gjorts vid tidigare undersökningar utförda år 2003 och 1997. Elva av platserna undersöktes vid alla tre mättillfällena 2012, 2003 och 1997. Sex platser undersöktes vid två mättillfällen 2012 och 2003, nio platser undersöktes år 2003 och år 1997 medan fem undersöktes 2012 och 1997.

I fält så analyserade parametrar som temperatur, pH och konduktivitet (även kallat ledningstal) direkt i grundvattnet. Delprov togs ut för vidare analys på ackrediterat kemiskt laboratorium. Parametrar som analyserades på laboratorium bestod av närsalter (ammonium, nitrit, nitrat, fosfat, klorid, sulfat), alkalinitet, organiskt kol och metaller (aluminium, arsenik, barium, kalcium, kadmium, kobolt, krom, koppar, järn, kvicksilver, kalium, magnesium, mangan, molybden, natrium, nickel, bly, strontium och zink). Flertalet organiska analyser genomfördes även på delprover från grundvattnet. Till exempel så analyserades ämnen som polycykliska aromatiska kolväten (PAH), ftalater och bisfenol-A i provtagningen från 2012. De organiska parametrarna ingick inte i jonbalansberäkningen utan användes som en del i den statistiska bearbetningen med multivariat analys för att om möjligt kunna urskilja grundvatten av olik typ. Rapporteringsgränsen som laboratorierna angett har till viss del skiljt sig mellan de olika årens analyser, särskilt för de organiska analyserna. För de ämnen som ingick i jonbalansberäkningen har rapporteringsgränsen inte haft någon betydelse, dels eftersom låga halter inte påverkar jonbalansen, och dels för att dessa ämnen endast i undantagsfall har halter under rapporteringsgräns.

3.2. Jonbalans som granskningsmetodik i denna studie

Vatten består av oladdade molekyler, *positivt* laddade atomer eller molekyler (joner som även kallas för katjoner) och *negativt* laddade atomer eller molekyler (joner som även kallas för anjoner). De positivt laddade jonerna "tar ut" de negativt laddade jonerna och som helhet så blir vattnet elektriskt oladdat.

Felaktigt insamlade data, mätfel i fältinstrument, mätfel på ett kemiskt laboratorium, fel noterad enhet eller andra skrivfel kan leda till en obalans mellan positivt och negativt laddade atomer i vattenfasen. När man har stor mängd insamlad data kan det vara svårt att granska hela datasetet samtidigt. Ett sätt att förenkla utvärderingen av stora dataset är att använda sig av jonbalansberäkning. Med jonbalans så räknar man ut hur mycket positivt laddade ekvivalenter och

hur mycket negativt laddade ekvivalenter det finns i vattnet. När man använder sig av ekvivalenter viktas halten hos en jon i grundvattnet med dess antal av positiva eller negativa laddningar och dess molekylmassa.

Vid de flesta typer av studier så brukar man använda ett resultat där två mätdata statistiskt avviker från varandra med som mest 5 % som ett godkänt resultat. Om dessa skiljer sig mer än 5 % betraktas de som statistiskt skiljda från varandra. I denna undersökning har vi bedömt att där skillnaden mellan anjoner och katjoner är 15 % eller lägre kan dessa provpunkter användas i den statistiska analysen. Detta är ett något högre värde än normalt. Vid en skillnad mellan katjoner och anjoner på mer än 15 % har vi gjort bedömningen att i mätningen av de olika parametrarna finns någon typ av mätfel som gör att det bildas en obalans mellan katjoner och anjoner. Detta leder till att provtagningspunkter vilka hade en skillnad mellan katjoner och anjoner på mer än 15 % uteslöts från vidare statistisk bearbetning. Det större felet som används i denna studie jämfört med de 5 % som statistiskt brukar användas beror på att i denna undersökning analyserades en stor mängd enskilda parametrar för varje vattenprov. För varje parameter som analyseras så ökar möjligheten till att det blir en skillnad mellan anjoner och katjoner. Därav så har vi valt att acceptera även prover med upp till 15 % skillnad mellan anjoner och katjoner.

3.3. Resultat från jonbalansberäkningen

Resultatet från jonbalansberäkningen redovisas i bilaga 1A (år 2012), bilaga 1B (år 2003) och i bilaga 1C (år 1997). För att kunna göra en jonbalansberäkning så behöver både anjoner och katjoner vara analyserade för provpunkten. Vid stora undersökningar finns ofta inte ekonomiska resurser att analysera alla olika parametrar i alla vattenprover. Ibland går det dock bra att "kopiera" resultat från ett grundvattenprov till ett annat om dessa är provtagna vid samma tidpunkt, är närbelägna och ligger i samma grundvattenmagasin. För till exempel provpunkten Skansen så finns 3 olika grundvattenrör där grundvattenprov kan hämtas, Skansen 401, 402 och 403. Under provtagningsstillfället år 2012 så mättes anjonerna endast i Skansen 401 medan katjoner analyserades för alla tre rören. Då dessa rör ligger nära varandra och provtogs vid samma tidpunkt så skulle de analyserade anjonerna från Skansen 401 även kunna användas för Skansen 402 och 403. Detta möjliggör jonbalansberäkning för dessa prover också. Men då summan av katjoner skiljer sig något mellan grundvattenrören finns det någon skillnad i kemi mellan Skansen 401 jämfört med Skansen 402 och 403. Följande katjoner hade högre koncentration i Skansen 402 och 403 jämfört med Skansen 401: Ba, Ca, Mg, Na, Sr och Zn. Katjoner med lägre halt i Skansen 402 och 403 jämfört mot Skansen 401 var Fe, K och Mn.

Resultaten från jonbalansberäkningen visar att de allra flesta provtagningspunkter erhöll en jonbalans där skillnaden mellan anjoner och katjoner var under 15 % och kunde användas vidare i den statistiska bearbetningen (se fullständiga resultat i Bilaga 1A-1C).

2012 års undersökning

För undersökningen från år 2012 saknades anjonen fluor samt katjonen bor i jonbalansberäkningen. Då dessa normalt är av låg halt i vattnet bedöms slutresultatet för jonbalansberäkningen inte påverkas av att det inte finns mätdata för dessa metaller. Från år 2012 var det endast två

provpunkter som fick över 15 % skillnad i jonbalans. Dessa två prover hade hämtats i grundvattenröret Skansen 401 respektive Beckomberga. Då en så stor skillnad erhöles i jonbalansberäkningen (32 % respektive 35 %) så uteslöts dessa två prover från den statistiska bearbetningen. I den andra provpunkten, Beckomberga, hade både proverna hämtade på våren och på hösten en för stor skillnad mellan anjoner och katjoner. I detta fall låg skillnaden på 23 % för båda proverna. Antingen finns ytterligare någon jon av stor betydelse i den provpunkten men som inte analyserats eller så har provet en karaktär som är särskilt känslig för provtagningsmetodiken, t ex tid mellan provtagning och analys. Denna provpunkt togs också bort från den statistiska bearbetningen.

2003 års undersökning

Analysparametrar som saknades till jonbalansberäkningen för mätdata från år 2003 var anjonerna fosfat och fluor samt katjonerna strontium, mangan, järn, barium och bor. Då det saknades relativt många katjoner gjordes ett försök för att se om avsaknaden av dessa påverkar resultatet för jonbalansberäkningen. I ett test så infogades en hög järnhalt (använde det högsta värdet som uppmättes under mätserien från år 2012) för att se om denna halt på något sätt styrde resultatet från jonbalansen. Vid detta test så ändrades balansen mellan katjoner och anjoner med mindre än en procentenhet. Det verkar alltså inte som om halten av dessa katjoner med relativt låg halt i grundvattnet styr resultatet i jonbalansen. Istället styr parametrar vilka har hög halt i grundvattnet. Dessa är till exempel natrium, klorid och alkalinitet. Ett mätfel i någon av dessa parametrar kan vara avgörande för jonbalansen i grundvattnet. Ett exempel på detta är provpunkten Skrubba. För denna provpunkt erhöles inledningsvis en väldigt stor skillnad mellan anjoner och katjoner på 74 %. Denna provpunkt ingick i undersökningen år 2012 och detta gjorde att analyserade parametrar kunde jämföras mellan de två tidpunkterna. Den största skillnaden mellan mätserierna från de två tidpunkterna var värdet för alkalinitet som redovisats som 1200 mg HCO_3^- per liter vatten för år 2003 och 100 mg HCO_3^- per liter vatten för år 2012. Genom att anta att alkaliniteten inte borde ändras så drastiskt i samma grundvattenmagasin över åren, då detta är beroende av vilken bergrund eller jordart som vattnet rinner genom, så ersattes det höga mätvärdet från 2003 dataserie med värdet från 2012. Detta gjorde att skillnaden mellan anjoner och katjoner sjönk till 3 % och provpunkten kunde användas vidare i den statistiska bearbetningen. Att korrigera mätvärden för provpunkter på detta sätt är endast tillåtet om man har en god kunskap om grundvattnets kemiska och fysikaliska egenskaper samt att provpunkten är analyserad vid flera tidpunkter.

I mätserien från 2003 var det två provpunkter som fick en för stor skillnad mellan anjoner och katjoner och som därför inte togs med i den statistiska bearbetningen. Dessa var Grimsta IP (51 % skillnad) och Älvsjömässan (19 % skillnad). Alla andra provpunkter hade under 15 % skillnad mellan anjoner och katjoner och användes i den statistiska delen av denna undersökning.

1997 års undersökning

Analysparametrar som saknades för balansberäkningen för år 1997 var anjonerna fosfat och fluor samt katjonen bor. I denna mätserie upptäcktes att manganhalten hade redovisats med 1000 gånger för hög halt i 10 av proverna. Detta justerades ner manuellt innan jonbalansberäkningen påbörjades (vilka prov framgår av Bilaga 1C). I denna mätserie från 1997 var det endast ett prov som hade förhöjd skillnad mellan katjoner och anjoner vilken togs bort från den statistiska delen. Detta grundvatten var hämtat vid Roslagstull/Roslagsvägen och hade en skillnad på 23 % (se bilaga 1B).

4. STATISTISK BEARBETNING

Principalkomponentanalys förkortat PCA, kommer från engelskans principal component analysis och är en metod för att beskriva och visualisera den dominerande strukturen i ett multivariat dataset. Man kan söka mönster bland observationerna och variablerna, liksom hur observationer och variabler förhåller sig till varandra. Med mönster menas korrelationsstruktur, grupperingar och avvikare, eller outlier.

Metoden tar fram s.k. komponenter eller axlar som påvisar den variation som finns i ett dataset. Genom att reducera ett komplext dataset till ett hanterbart antal fördelningsaxlar (komponenter), kan variationen i ett dataset enkelt illustreras i ett två- eller tredimensionellt diagram. Den komponent som visar störst variation eller spridning sätts som x-axel (PC1). I ett ordinationsdiagram kommer observationer som liknar varandra ligga i närheten av varandra, medan mer olika objekt hamnar längre ifrån varandra. PCA ger även en grafisk illustration av hur de olika beskrivningsvariablerna förhåller sig till varandra.

4.1. Metod

PCA utfördes i programvaran MiniTab 16, Minitab Ltd, som kördes på PC. De provpunkter från vilka data användes återfinns i bilaga 1A-C. I resultatdelen presenteras resultaten från PCA för respektive provtagningsomgång (d.v.s. 2012, 2003 och 1997). En s.k. scoreplott och en outlierplott visas för varje provtagningsomgång för att visualisera resultaten. Valet av variabler (dvs. de olika parametrarna som beskrivits tidigare i texten) och antalet variabler som används i PCA skiljer sig mellan de olika provtagningsomgångarna.

För att kunna avgöra om halterna av metaller och andra oorganiska kemiska parametrar skiljer sig mellan åren utfördes statistiska beräkningar på data från 2012, 2003 och 1997. Enbart de grundvattenpunkter som klarat den tidigare genomförda kvalitetsgranskningen användes i beräkningarna för de parametrar kvalitetsgranskningen gällde, se bilaga 1A-C. För PAH -16 och di-(etylhexyl)-ftalat användes dock alla tillgängliga data. Beräkningarna utfördes med hjälp av programvaran R (<http://www.r-project.org>).

4.2. Resultat

Resultat från respektive provtagningsomgång presenteras nedan.

4.2.1. GRUNDVATTENDATA FRÅN 2012 – PRINCIPALKOMPONENTANALYS (PCA)

Dessa statistiska beräkningar är gjorda på opublicerade grundvattendata. För beräkningarna användes enbart data från punkter som klarat kvalitetssäkringen, se bilaga 1A.

Baserat på om det fanns analysdata eller inte gjordes ett urval av parametrar som användes i PCA. För mätserien från 2012 togs beslutet att använda följande parametrar i beräkningarna:

Alkalinitet, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄²⁻, Cl, SO₄²⁻, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr och Zn.

Parametern konduktivitet och pH ingår inte i PCA-körningen då mätdata saknades för några av provpunkterna. Vid analysen användes en korrelationsmatris då det är samma enhet på samtliga ingående parametrar som användes. Antalet valda principalkomponenter i analysen sattes till 2 stycken då det vanligtvis räcker för att göra en PCA, och som också valdes för de andra två statistiska analyserna.

Eigenanalys av korrelationsmatrisen

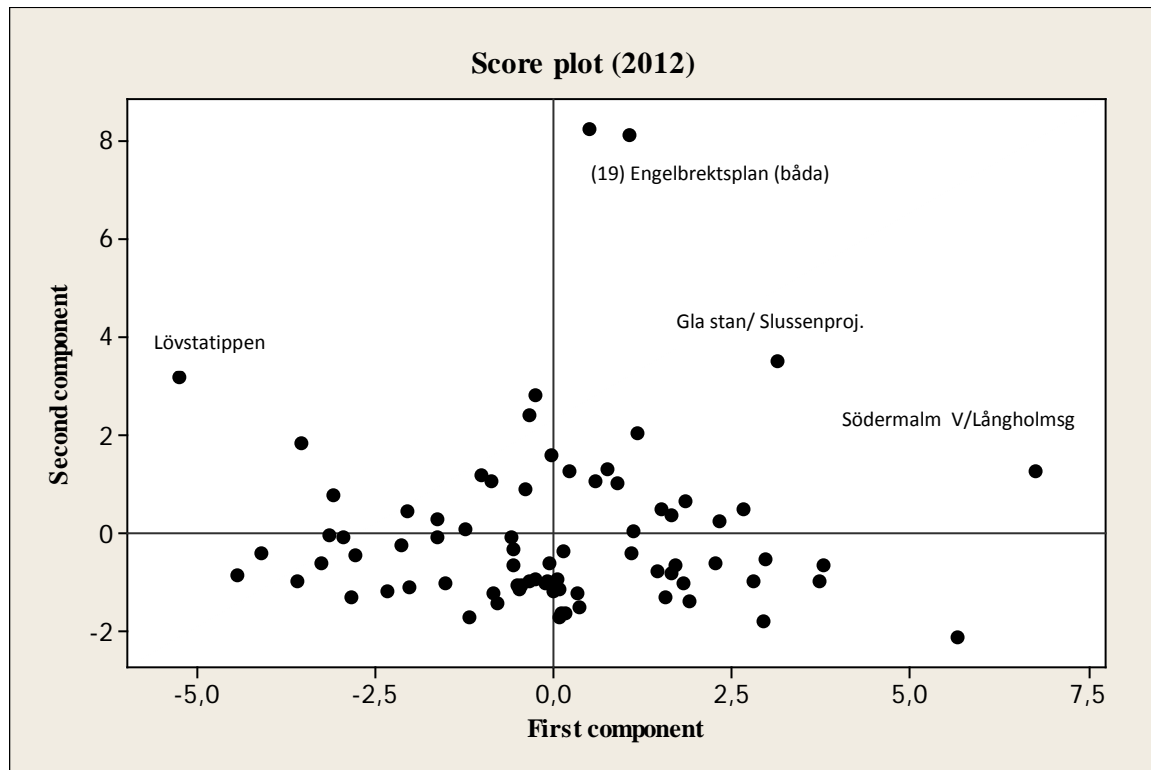
Eigenvalue	4,8589	3,2640	2,9294	2,0589	1,6137	1,4144	1,3510	1,2460
Proportion	0,187	0,126	0,113	0,079	0,062	0,054	0,052	0,048
Cumulative	0,187	0,312	0,425	0,504	0,566	0,621	0,673	0,721
Eigenvalue	1,0714	0,9179	0,8322	0,7524	0,7222	0,5187	0,4724	0,4094
Proportion	0,041	0,035	0,032	0,029	0,028	0,020	0,018	0,016
Cumulative	0,762	0,797	0,829	0,858	0,886	0,906	0,924	0,940
Eigenvalue	0,3222	0,2846	0,2741	0,1959	0,1445	0,1249	0,1032	0,0604
Proportion	0,012	0,011	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004	0,002
Cumulative	0,952	0,963	0,974	0,981	0,987	0,992	0,995	0,998
Eigenvalue	0,0445	0,0127						
Proportion	0,002	0,000						
Cumulative	1,000	1,000						

Den första principalkomponenten har en varians, eller eigenvalue, av 4,8589 och står för 18,7 % av den totala variabiliteten i data. PC1 har beräknats på följande vis: $PC1=0,347(\text{Alkalinitet}) + 0,073(\text{NH}_4) + 0,099(\text{NO}_3) - 0,003(\text{NO}_2)\dots$ och slutligen $+ 0,031(\text{Zn})$, dvs. man adderar positiva tal och subtraherar negativa tal, där respektive term består av en konstant för populationens varians och provets koncentration, för samtliga ingående parametrar (där respektive ämnes varians listats i tabellen nedan). Man kan säga att den första komponenten representerar alla ingående parametrar, men eftersom NO_2 , Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo och Pb är negativa tal saknar dessa nio här betydelse. PC2 beräknas på samma vis som förklarats för PC1. PC2 har variansen 3,2640 och står för 12,6 % av variabiliteten i data. Tillsammans representerar de 14 st. första komponenterna 90,6 % av den totala variabiliteten. Övriga principalkomponenter står för en mindre del av variabiliteten och kan sägas vara betydelselösa i sammanhanget. Nedan visas resultaten för de första 2 principalkomponenterna.

Variable	PC1	PC2
Alkalinitet	0,347	0,157
NH4	0,073	0,188
NO3	0,099	0,082
NO2	-0,003	0,061
PO42	0,024	0,441
Cl	0,271	0,136
SO42	0,187	-0,159
Al	-0,190	0,122
As	-0,022	0,115
Ba	0,305	-0,090
Ca	0,384	0,019
Cd	-0,080	0,079
Co	0,114	-0,037
Cr	-0,041	0,457
Cu	-0,132	0,198
Fe	0,018	0,106
Hg	-0,102	0,122
K	0,166	0,417
Mg	0,362	-0,097
Mn	0,264	-0,099
Mo	-0,026	0,103
Na	0,260	0,206

Ni	0,005	0,126
Pb	-0,024	0,319
Sr	0,362	-0,095
Zn	0,031	0,012

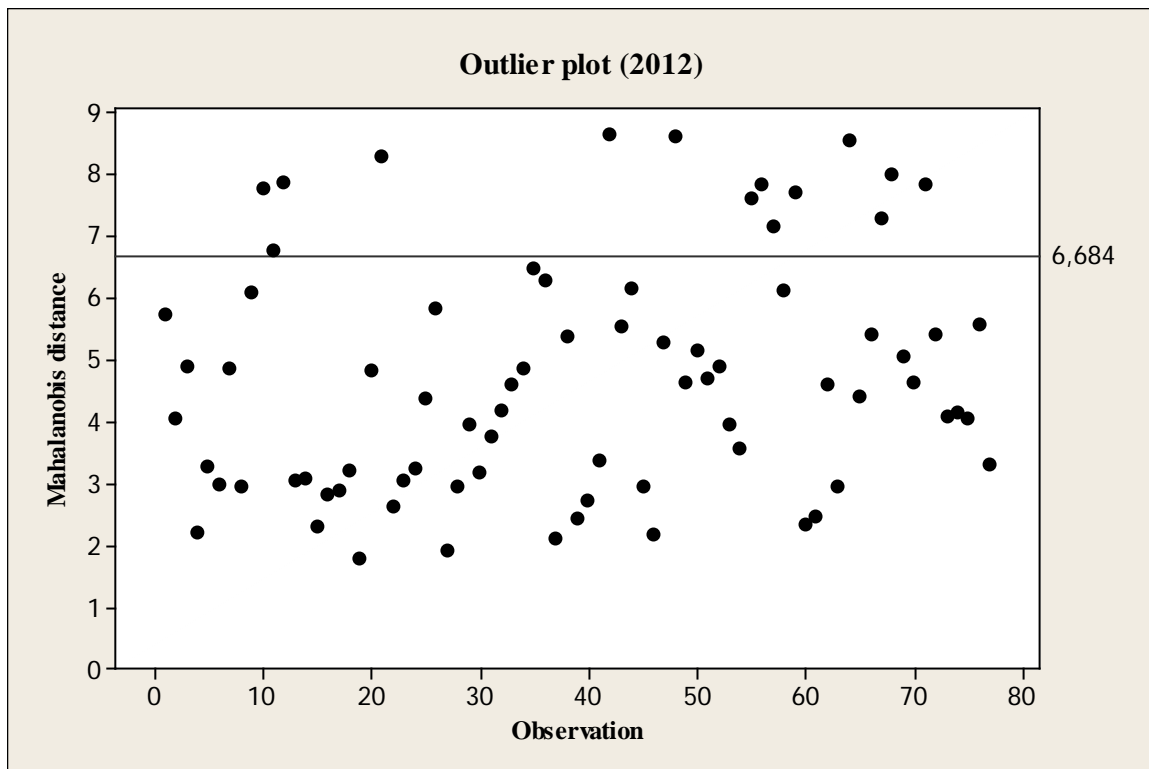
Den första komponenten representerar i detta fall till största del av alkalinitet, klorid, sulfat, barium, kalcium, kobolt, kalium, magnesium, mangan, natrium och strontium.



Figur 1A. Score-plot över PC1 och PC2 för grundvattendata från 2012.

I ett diagram där PC1 sätts på x-axeln och PC2 på y-axeln, en så kallad Scoreplot som visas i figur 1A, syns inte någon tydlig gruppering av grundvatten från de olika provtagningspunkterna från mätserien år 2012 vilket tyder på likheter i grundvattenkemi. Några provpunkter skiljer dock ut sig från resterande provpunkter utan att bilda någon gemensam grupp (Lövstatippen, (19) Engelbrektsplan (båda delproverna), Gla stan/Slussenproj., Södermalm V/Långholmen). I övrigt är punkterna jämt fördelade kring de två axlarna.

En avvikare, även kallat outlier, har ett värde som skiljer sig kraftigt från övriga värden. I detta fall är en outlier en provpunkt. Bedömning av outliers för de olika mätserierna gjordes i mjukvaran MiniTab. Outliers från mätserien 2012 visas i figur 1A. Punkter som placerats ovan referenslinjen (6,684) i figur 1B bedöms som outliers. Placeringen av referenslinjen är beroende av resultatet från PCA-körningen och fördelningen av provpunkternas placering i ordinationsdiagrammet.



Figur 1B. Outlier-plot för data från grundvattenprovtagning 2012

Outliers vid 2012 års vattenprovtagning:

- (10c) Ulvsunda (båda delproven)
- Bällstaån
- Lövstatippen
- Tallkrogen/Olympiav.
- Johannesv.
- Flaten/dagvattendike
- Södermalm V/Långholmsg
- Lilla Bleckan
- Gla stan/Slussenproj.
- (16A) Åsen Norrmalm
- (19) Engelbrektsplan (båda delproven)
- Vasastan S/Torsgränd

I övrigt avslöjar PCA inga tydliga grupperingar med provpunkter som liknar har liknande grundvattensammansättning. Provprovpunkten (19) Engelbrektsplan (både höst och vårprov), Gla stan/ Slussenproj och Södermalm V/Långholmsg skiljer ut sig från övriga provpunkter i figur 1A, samt bedöms som outliers i figur 1B. Detta tyder på att grundvattnet i dessa provpunkter skiljer ut sig på ett onormalt vis jämfört med grundvatten från övriga provpunkter. Att Flaten/dagvattendike bedöms som en outlier beror med stor sannolikhet på att detta är ett ytvatten. Att inte Sätraån bedöms som en outlier kan tyda på att vattnet i Sätraån har förbindelse med grundvattnet till större utsträckning än vad som är fallet med provpunkten Flaten/dagvattendike.

4.2.2. GRUNDTVATTENDATA FRÅN 2003 – PRINCIPALKOMPONENTANALYS (PCA)

Data från 2003 finns publicerade i Grundvatten i Stockholm, 2003-2004 (Miljöförvaltningen i Stockholm Stad, 2004). För de statistiska beräkningarna användes enbart data från punkter som klarade kvalitetssäkringen, se bilaga 1B.

Baserat på om det fanns analysdata eller inte gjordes ett urval av parametrar som användes i PCA. För mätserien från år 2003 användes följande parametrar i beräkningarna:

Konduktivitet (EC), pH, alkalinitet, NH₄, NO₃, NO₂, Cl, SO₄²⁻, Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mg, Na, Ni, Pb och Zn.

I denna PCA ingår konduktivitet och pH då mätvärde fanns för ett stort antal provpunkter. Vid analysen användes en kovariansmatris, beroende på att konduktivitet och pH inte har samma enhet som övriga ingående parametrar. Antalet valda komponenter i analysen sattes till 2 stycken då det vanligtvis räcker för att göra en PCA, och som också valdes för de andra två statistiska analyserna.

Eigenanalys av kovariansmatrisen

Eigenvalue	778052	94567	8866	475	165	145	64	19	7
Proportion	0,882	0,107	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cumulative	0,882	0,989	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Eigenvalue	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Proportion	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cumulative	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

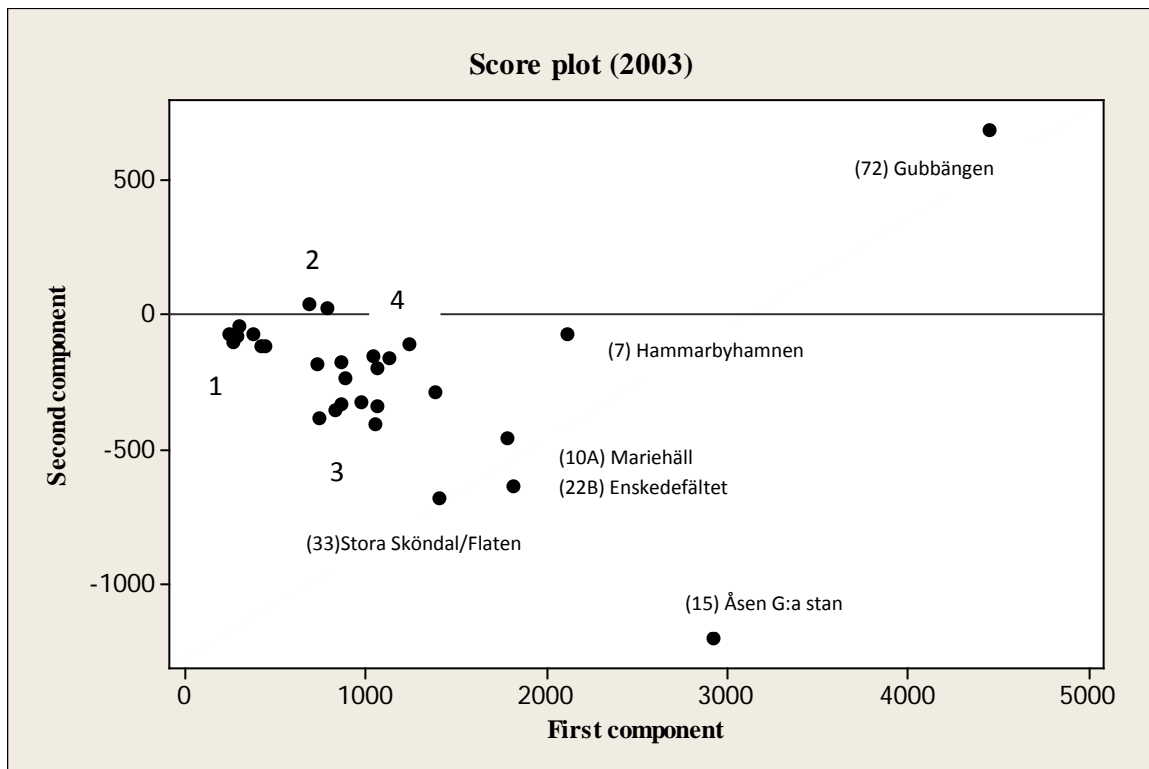
Eigenvalue	0	0	0	0
Proportion	0,000	0,000	0,000	0,000
Cumulative	1,000	1,000	1,000	1,000

Den första principalkomponenten har en varians, eller eigenvalue, av 778052 och står för 88,2 % av den totala variabiliteten i data. PC2 har variansen 94567 och står för 10,7 % av variabiliteten i data. Tillsammans representerar de tre första principalkomponenterna 99,9 % av den totala variabiliteten. Övriga principalkomponenter står för en mindre del av variabiliteten och kan sägas vara betydelselösa i sammanhanget. Att värdet är så stort för "eigenvalue" beror på att mätvärdet för konduktivitet och alkalinitet är högt samt att de har stor inverkan på principalkomponenterna. Nedan visas resultaten för de två första principalkomponenterna.

Variable	PC1	PC2
EC	0,949	0,020
pH	-0,000	0,000
Alkalinitet	0,149	-0,869
NH ₄	0,005	-0,021
NO ₃	0,000	0,000
NO ₂	0,000	-0,001
Cl	0,235	0,391
SO ₄ ²⁻	0,018	-0,062
Al	0,000	-0,000
As	-0,000	-0,000
Ca	0,048	-0,198
Cd	0,000	0,000
Co	0,000	0,000
Cr	0,000	-0,000
Cu	0,000	-0,000
Hg	0,000	-0,000
K	0,006	-0,026

Mg	0,004	-0,021
Na	0,139	0,214
Ni	0,000	0,000
Pb	0,000	-0,000
Zn	0,000	-0,000

Den första komponenten, PC1, representeras till största del av konduktivitet, alkalinitet, klorid och natrium. Övriga variabler har liten betydelse för PC1; då de är nära noll eller negativa tal saknar dessa variabler betydelse.



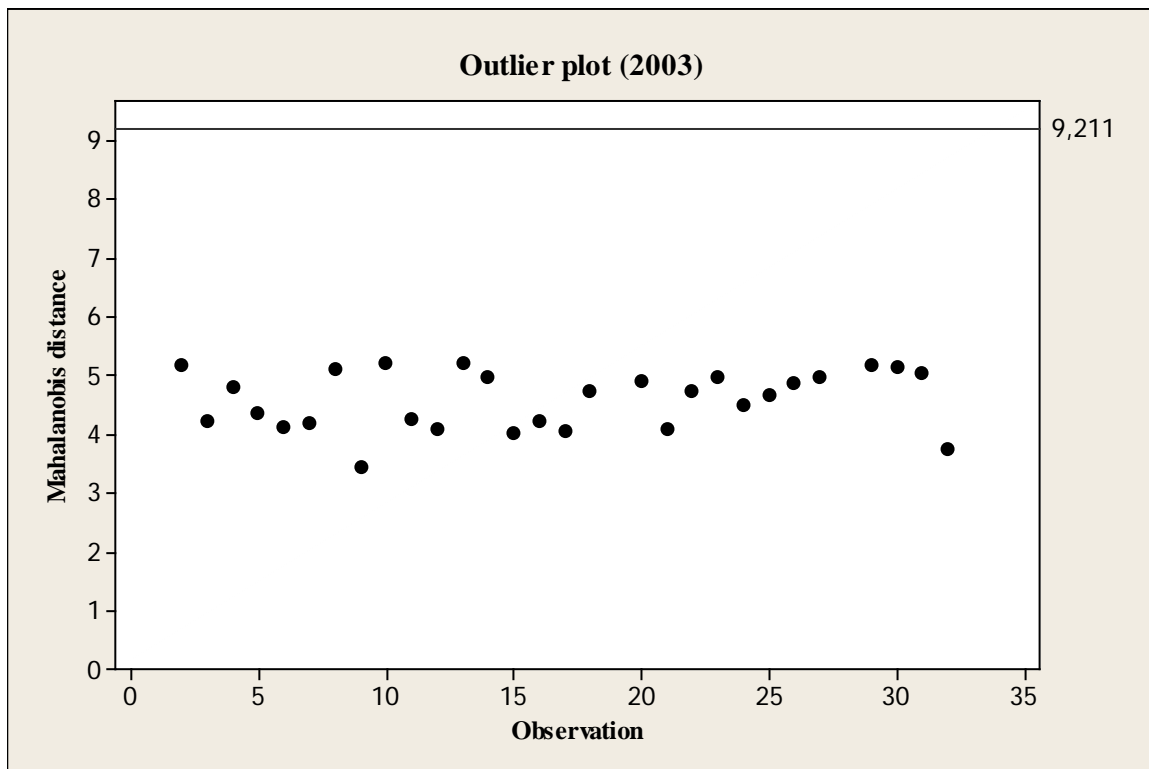
Figur 2A. Score-plot över PC1 och PC2 för grundvattendata från 2003.

Score-plot för data från 2003-2004 redovisas i figur 2A. Där syns en antydning gruppering vilket skulle kunna tyda på likheter i grundvattenkemi för dessa provpunkter. Det finns 4 st. svaga grupperingar där grundvattensammansättningen liknar varandra inom gruppen. Följande provpunkter tillhörde de olika grupperingarna:

- Gruppering 1: (28) Högdalstoppen, (3) Liljeholmen, (4) Laduviken, (10C) Ulvsunda, 16. G-A Torg placerade.
- Gruppering 2 (52) Råcksta träsk, (53) Enskede/Kärrtorp – Ältasjön, (32) Granholmen, (30) Johannelundstoppen, (20) Södermalm NV, (56B) Riksby (Lillsjön).
- Gruppering 3: (9A) Värtahamnen, (54) Spånga torg placerats.
- Gruppering 4: (78A) Snösättra, (74) Brommaplan/reningsv, (43) Enskede gård, (8B) Hjorthagen/Tennishallen, (58) Bredäng, (70) Skanstullsbron och (5B) Norrtull.

Av proverna är det 7 st. punkter som skiljer ut sig och inte tillhör någon gruppering. Dessa var (72) Gubbängen, (7) Hammarbyhamnen, (10A) Mariehäll, (22B) Enskedefältet, (33) Stora Sköndal/Flaten och (15) Åsen G:a stan.

Enligt outlierplotten nedan framträder inga outliers då alla provpunkter ligger under referenslinjen.



Figur 2B. Outlier-plot för data från grundvattenprovtagning 2003-2004.

4.2.3. GRUNDVATTENDATA FRÅN 1997 – PRINCIPALKOMPONENTANALYS (PCA)

Data från 1997 finns publicerade i Grundvatten i Stockholm, Tillgång, Sårbarhet, Kvalitet (Stockholm Stad och Naturvårdsverket, 1997). För de statistiska beräkningarna användes enbart data från punkter som klarat kvalitetssäkringen enligt bilaga 1C.

Baserat på om det fanns analysdata eller inte gjordes ett urval av parametrar som användes i PCA. För mätserien från år 1997 användes följande parametrar i beräkningarna:

Alkalinitet, NH₄, NO₃, Cl, SO₄²⁻, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Si, Sr och Zn.

Anledningen till detta var att för övriga parametrar (bl a konduktivitet och pH som fanns med 2003) saknades det mätdata från många punkter. Det bör noteras att om det saknas mätvärden för en parameter i en provpunkt kommer det statistiska programmet automatiskt att utesluta denna provpunkt vid PCA-körningen. Vid analysen användes en korrelationsmatris då det är samma enhet på samtliga ingående parametrar. Antalet valda principalkomponenter i analysen sattes till 2 st. då det vanligtvis räcker för att göra en PCA.

Eigenanalys av korrelationsmatrisen

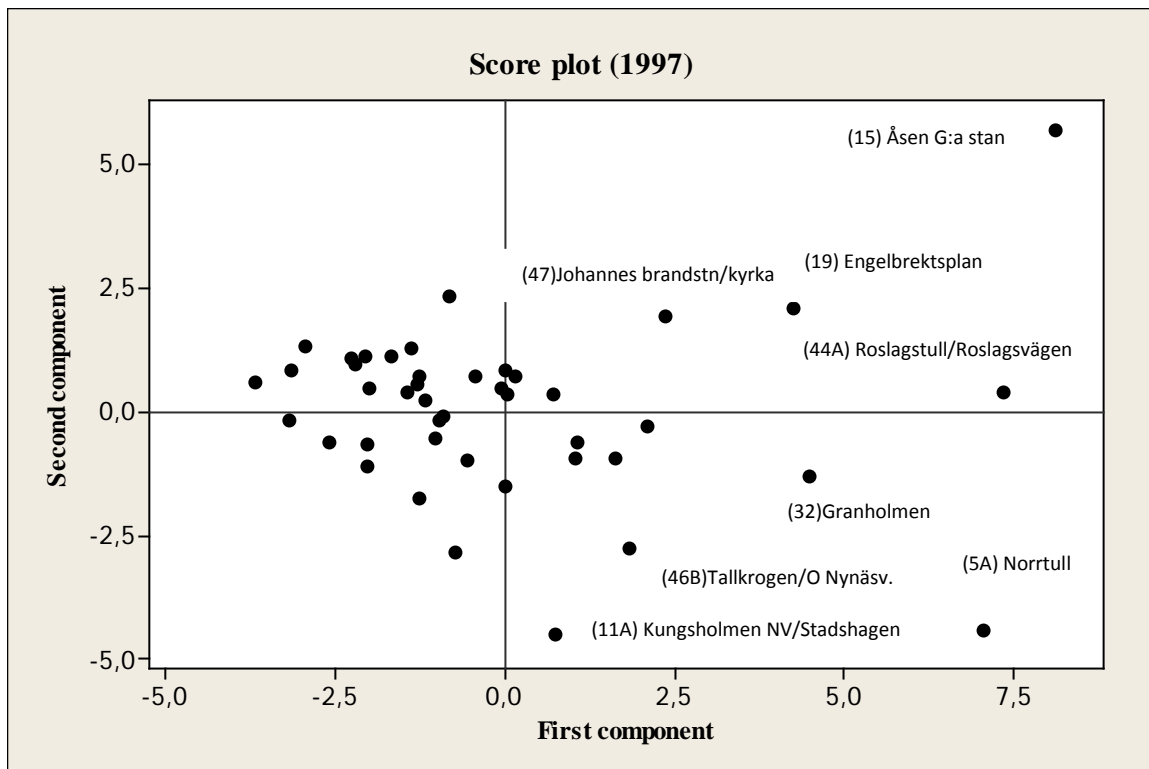
Eigenvalue	7,6147	3,0186	2,3106	1,9851	1,5251	1,3063	1,1131	1,0249
Proportion	0,317	0,126	0,096	0,083	0,064	0,054	0,046	0,043
Cumulative	0,317	0,443	0,539	0,622	0,686	0,740	0,786	0,829

Eigenvalue	0,8693	0,7871	0,6709	0,5135	0,2866	0,1927	0,1807	0,1534
Proportion	0,036	0,033	0,028	0,021	0,012	0,008	0,008	0,006
Cumulative	0,865	0,898	0,926	0,947	0,959	0,967	0,975	0,981
Eigenvalue	0,1504	0,0902	0,0821	0,0497	0,0382	0,0221	0,0104	0,0043
Proportion	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
Cumulative	0,988	0,991	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	1,000

Den första principalkomponenten har en varians, eller eigenvalue, av 7,6147 och står för 31,7 % av den totala variabiliteten. PC1 har beräknats på följande vis: $PC1=0,288(\text{Alkalinitet}) + 0,173(\text{NH}_4) - 0,020(\text{NO}_3) + 0,228(\text{Cl}) \dots$ och slutligen $+ 0,022(\text{Zn})$, dvs. man adderar positiva tal och subtraherar negativa tal, för samtliga ingående parametrar. Man kan säga att den första komponenten representerar alla ingående parametrar, men eftersom NO_3 , Al, As, Cd, Cu, Pb och Zn är nära noll eller negativa tal saknar dessa sju här betydelse. PC2 beräknas på samma vis som förklarats för PC1. PC2 har variansen 3,0186 och står för 12,6 % av variabiliteten i data. Tillsammans representerar de fem första principalkomponenterna 68,6 % av den totala variabiliteten. Övriga principalkomponenter står för en mindre del av variabiliteten men är inte betydelselösa.

Variable	PC1	PC2
Alkalinitet	0,288	0,246
NH4	0,173	0,306
NO3	-0,020	0,058
Cl	0,228	-0,147
SO42	0,172	-0,253
Al	-0,011	-0,025
As	0,037	0,024
Ba	0,222	-0,211
Ca	0,335	0,124
Cd	0,031	-0,345
Co	0,314	0,046
Cr	0,263	0,220
Cu	-0,020	-0,341
Fe	0,086	0,134
Hg	0,178	0,087
K	0,285	0,171
Mg	0,280	-0,162
Mn	0,257	0,087
Na	0,273	-0,105
Ni	0,180	-0,259
Pb	0,080	-0,286
Si	0,152	-0,242
Sr	0,268	-0,078
Zn	0,022	-0,310

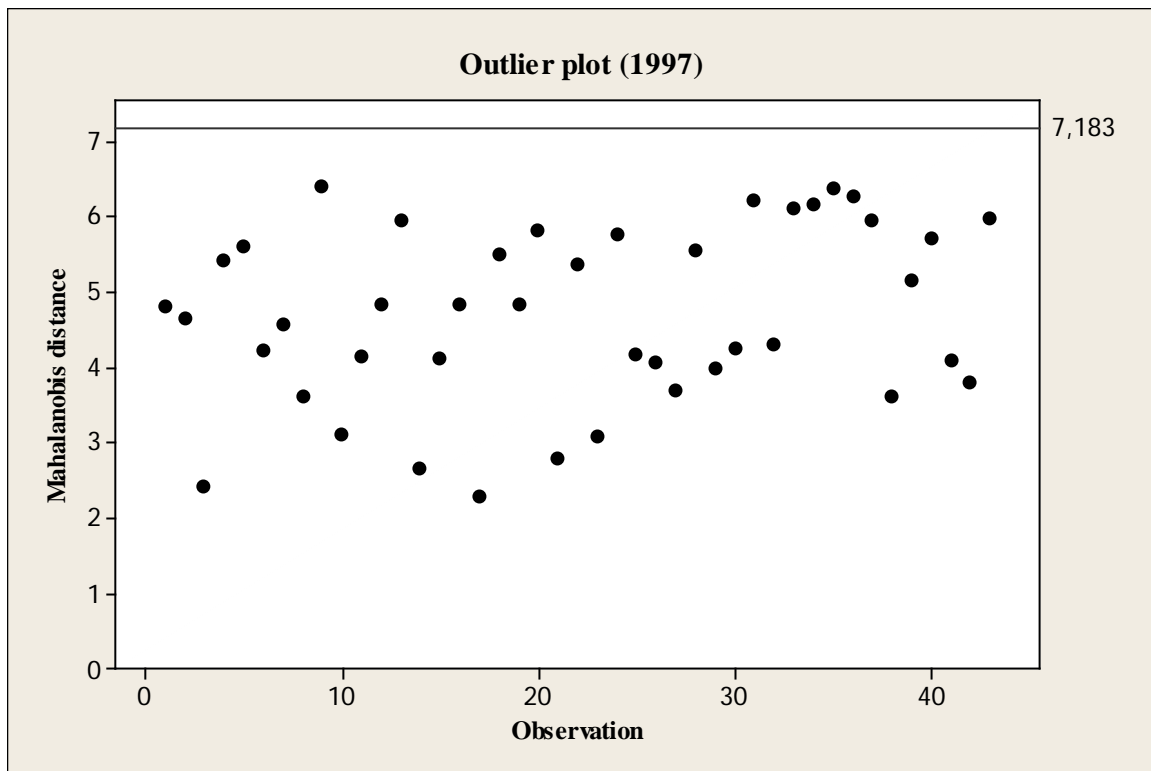
Den första komponenten representerar i detta fall till största del av alkalinitet, ammonium, klorid, sulfat, barium, kalcium, kobolt, krom, kvicksilver, kalium, magnesium, mangan, natrium, nickel och strontium.



Figur 3A. Score-plot över PC1 och PC2 för grundvattendata från 1997.

I scoreplotten (figur 3A, med PC1 på x-axeln och PC2 på y-axeln) syns det att de flesta provpunkter ligger spridda runt mittpunkten och x-axeln. Detta tyder normalfördelad data. Detta är ett normalt mönster om det inte finns några tydliga grupperingar av grundvatten med olika sammansättning. Det är dock möjligt att urskilja ett antal provpunkter som skiljer sig från det vanliga mönstret. Punkter till höger i figur 3A ingår inte i grupperingen runt x-axeln. Dessa prover var följande: (11A) Kungsholmen NV/Stadshagen, (46B) Tallkrogen/O Nynäsv., (5A) Norrtull, (32) Granholmen, (44A) Roslagstull/Roslagsvägen, (47) Johannes brandstn/kyrka, (19) Engelbrektsplan och (15) Åsen G:a stan.

Vid körningen i MiniTab visar analysen att det inte finns några outliers i grundvattendata från 1997 års provtagning då inga provpunkter hamnade över referenslinjen (7,183; figur 3B). Placeringen av referenslinjen är beroende av resultatet från PCA-körningen och fördelningen av provpunkternas placering är i ordinationsdiagrammet.



Figur 3B. Outlier-plot för data från grundvattenprovtagning år 1997.

5. JÄMFÖRELSE AV PARAMETRAR ÖVER TIDEN

Det finns ett intresse av att veta om olika kemiska parametrar i Stockholms grundvatten skiljer sig över tiden. Naturligtvis skulle det vara positivt om halterna har blivit lägre över tiden. För att med säkerhet kunna säga om halterna skiljer sig är det nödvändigt att utföra statistiska beräkningar på befintlig data från 2012, 2003 och 1997. Enbart grundvattendata från provpunkter som godkänts vid kvalitetsgranskningen användes i beräkningarna, se bilaga 1A-C. Statistiska test utfördes på för följande kombinationer av provtagningsår:

- 2012, 2003 och 1997
- 2012 och 2003
- 2003 och 1997

Vissa orsaker gör dock att en jämförelse är svår. Till exempel har vissa parametrar inte analyserats vid mer än ett tillfälle. Dessutom har de ackrediterade laboratoriernas rapporteringsnivåer blivit lägre över åren p.g.a. förbättrad teknik och högre krav vid upphandlingen av kemiska analyser. I arbetet som presenteras i den här rapporten har halt under rapporteringsgräns hanterats som halt som rapporteringsgräns. Detta gör att man för ämnen med prov under rapporteringsgräns kan få en illusion av att halterna har sjunkit i grundvattnet över åren, bara för att rapporteringsgränsen sjunkit. I huvudsak är det inte ett problem för metallanalyserna, då dessa endast i ett fåtal fall har rapporterats i halter under rapporteringsgräns.

I denna utvärdering av grundvattendata har inga statistiska beräkningar utförts för att bedöma om halterna av analyserade parametrar skiljer sig mellan vår/sommar och höst/vinter vid 2012 års provtagningsomgång. Men generellt har proverna från olika årstider stora likheter i grundvattenkemi vid båda provtagningarna. Hade det funnits stora olikheter i den kemiska sammansättningen i prov tagna i samma grundvattenrör under olika årstider hade det visat sig i PCA.

5.1. Organiska miljögifter i Stockholms Stads grundvatten

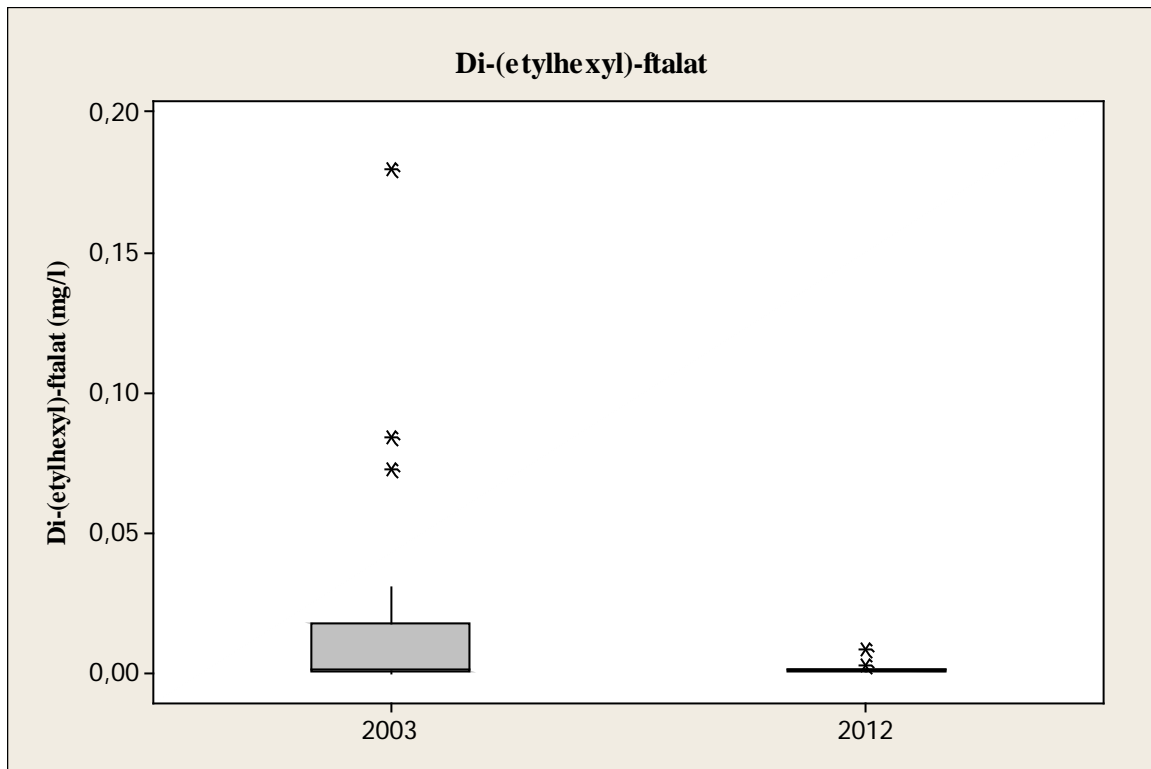
Statistiska beräkningar utfördes på halterna av di-(etylhexyl)-ftalat och PAH summa 16. För dessa parametrar fanns data från två provtagningsomgångar och halterna låg över rapporteringsgränsen för de flesta provpunkterna. För att kunna göra statistiska beräkningar sattes rapporteringsnivån som lägsta halt i analyserade prover som egentligen hade halt under rapporteringsgräns. Detta för att möjliggöra att även dessa provpunkter skulle kunna användas i statistiska test. Samtliga provpunkter där respektive ämne analyserats användes vid beräkningen, alltså inte enbart de få provpunkter där man haft upprepad provtagning. För de statistiska beräkningarna användes Minitab 16 på PC och Mann-Whitney test.

För övriga analyserade miljögifter gjordes bedömningen att statistiska jämförelser inte var möjligt då dessa ämnen inte analyserats mer än vid ett tillfälle, eller att allt för många värden låg under rapporteringsgränsen eller att rapporteringsgränsen hade förändrats så pass mycket att en korrekt jämförelse inte var möjlig.

5.1.1. JÄMFÖRELSE AV HALTER DI-(ETYLHEXYL)-FTALAT FRÅN 2003 OCH 2012

Mann-Whitney testet visar att det 95 %-iga konfidensintervallet för de två medianerna (år 2003 och år 2012) är -0,00038 till 0,00071, $W=612,0$ har ett p-värde av 0,4752 eller 0,4590 justerat när lika värde förekommer. P-värdet är inte mindre än 0,05 som är den valda signifikansnivån. Detta leder till att det inte finns någon statistiskt säkerställd skillnad mellan halterna från de två åren, se figur 4.

Di-(etylhexyl)-ftalat	År	N	Median (mg/l)
	2003	17	0,00120
	2012	61	0,00109



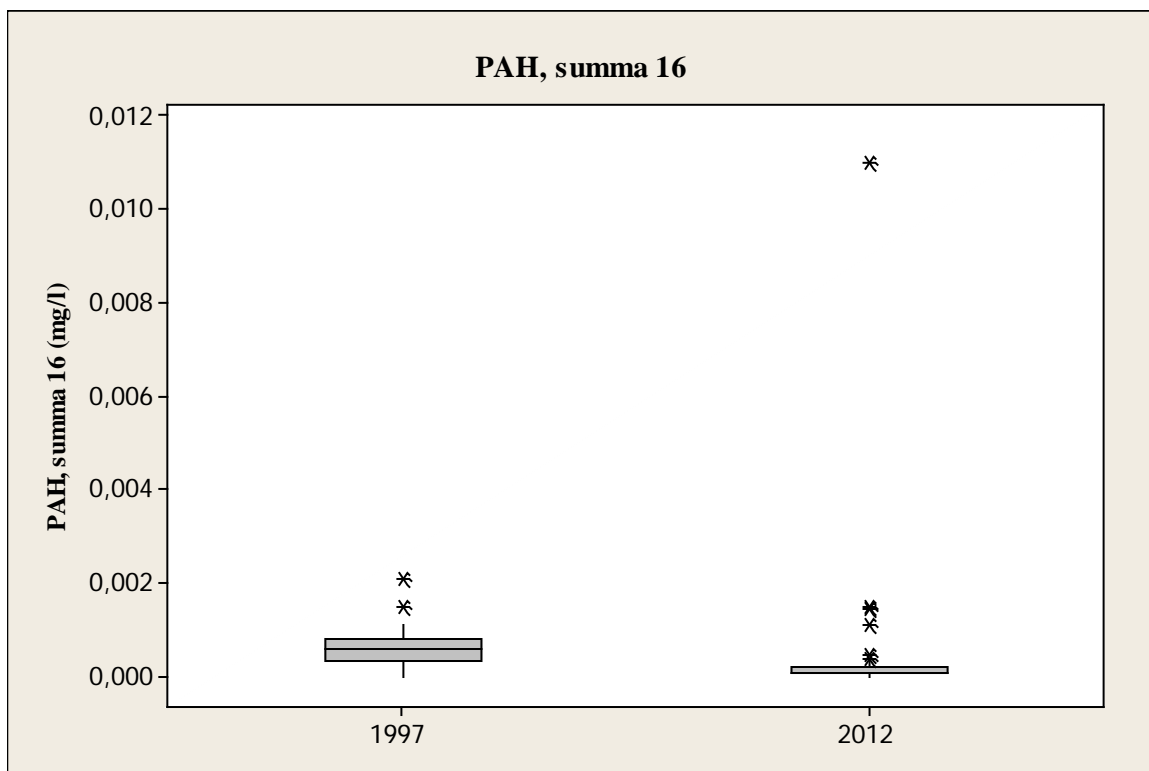
Figur 4. Halterna av di-(etylhexyl)-ftalat år 2003 och 2012 i grundvatten från Stockholm.

5.1.2. JÄMFÖRELSE AV HALTER PAH SUMMA 16 FRÅN 1997 OCH 2012

Liknande jämförelse som för di-(etylhexyl)-ftalat gjordes för summahalten av 16 olika PAHer.

PAH, summa 16	År	N	Median (mg/l)
	1997	49	0,00060
	2012	62	0,00008

Mann-Whitney testet visar att det 95 %-iga konfidentiellintervallet för de två medianerna (år 1997 och år 2012) är 0,00032 till 0,00052, $W=3616$ och har ett P-värde är mindre än 0,05, vilket är den valda signifikansnivån. Detta leder till att det finns en statistiskt säkerställd skillnad mellan halterna från de två åren. Halten har alltså minskat från 1997 till 2012, se figur 5.



Figur 5. Halterna av PAH, summa 16 år 1997 och 2012 i vatten från Stockholm.

5.2. Metaller och andra oorganiska kemiska parametrar

För att klargöra om halterna av metaller och andra oorganiska kemiska parametrar i grundvatten har förändrats över tiden i Stockholm utfördes statistiska beräkningar på data från 2012, 2003 och 1997, enligt bilaga 1A-C. Här användes endast data från de provpunkter där upprepad provtagning skett eftersom de fanns ett så mycket större datamaterial än för de organiska analyserna.

För att jämföra halterna i grundvatten de olika åren användes Kruskal-Wallis chi-square summatest då det fanns data från alla tre provtagningsomgångar. I de fall då data enbart fanns från 2 provtagningsomgångar användes istället Wilcoxon rank summatest. Detta gäller för NO_2 , Fe och Mn. Kemiska parametrar och statistiska resultat för jämförelsen redovisas i tabell 1. Den statistiska säkerheten sattes till det 95 %-iga konfidentiellintervallet, dvs. ett p-värde mindre än 0,05 bedöms som en statistisk säkerställd skillnad.

Tabell 1. Statistisk jämförelse för provtagningspunkter där det gjorts flera mätserier.

Parameter	Statistiskt test	Resultat av statistiskt test	Kommentar
pH	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Alkalinitet	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
NH4	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
NO3	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
NO2	Wilcoxon rank sum test	Ej signifikant skillnad	Jämförelse 2003 och 2012 (ofullständig data 1997).
SO4	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Cl	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Al	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
As	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Ca	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Cd	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Co	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
Cr	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
Cu	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
Fe	Wilcoxon rank sum test	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	Jämförelse 1997 och 2012.
Hg	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
K	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Mg	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Mn	Wilcoxon rank sum test	Ej signifikant skillnad	Jämförelse 1997 och 2012.
Na	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Ni	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	
Pb	Kruskal-Wallis chi-squared	Signifikant skillnad p-värde $\leq 0,05$	
Zn	Kruskal-Wallis chi-squared	Ej signifikant skillnad	

Box-plottar för kemiska parametrarna och metallerna där statistiska jämförelser var möjliga återfinns i bilaga 2.

För aluminium var halten signifikant högre år 2003 än 2012 och 1997. Halten av kobolt var högre vid den första undersökningen, 1997, vilket förklarar den signifikanta skillnaden vid jämförelsen. I box-plotten för krom (se bilaga 2) är halten signifikant lägre vid den senaste provtagningen, 2012. Halten koppar i grundvattnet har minskat signifikant för varje provtagning. Halten järn har dock ökat signifikant vid en jämförelse mellan halterna från 1997 och 2012. Likt koppar har halten kvicksilver minskat signifikant för varje år. När det gäller bly var halten signifikant högre år 2003, jämfört med 1997 och 2012 års provtagningsomgång. Resultatet för zink visar inte att det finns en signifikant skillnad mellan de uppmätta halterna. Om det är en signifikant skillnad mellan 2 st. efterföljande år utvisar inte den statistiska analysen. Dock kan man säga att halterna tycks ha blivit lägre för varje provtaget år när det gäller zink. Figurerna finns i bilaga 2.

6. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Kvalitetssäkringen av mätdata utfördes genom att utföra jonbalansberäkningar för de olika provpunkterna. I jonbalansberäkningen ingår många olika parametrar. En skillnad mellan positivt laddade katjonekvivalenter och negativt laddade anjonekvivalenter på upp till 15 % bedömdes som acceptabelt och dessa provpunkter användes vidare i den statistiska bearbetningen. För provpunkter som fick en större skillnad än 15 % togs dessa mätdata bort från den statistiska bearbetningen. De

allra flesta proverna klarade sig dock igenom kvalitetssäkringssteget. För mätdata från år 2012 var det endast två provpunkter av 76 som togs bort (Beckomberga och Skansen 401). Även för mätdata från 2003 fick två (av 35) provpunkter strykas från den statistiska delen (Grimsta IP och Älvsjömässan) medan år 1997 var det en provpunkt (av 75) som erhöll för stor avvikelse mellan negativa och positiva laddningsekvivalenter (Roslagstull/Roslagsvägen). Små misstag som upptäcktes genom att göra jonbalansberäkning i denna studie var bland annat för hög manganhalt för 10 prover i 1997 års dataserie (sannolikt pga tidigare enhetsfel - $\mu\text{g/l}$ istället för mg/l). En korrektion av ett misstänkt förhöjt alkalinitetsvärde för provpunkten Skrubba i 2003 års dataserie genomfördes inför jonbalansberäkningen. Kommentarer till ändringar finns i respektive bilaga (bilaga 1A, 1B och 1C).

Statistiska beräkningar på grundvattendata kan visa om det finns grupperingar av provpunkter som liknar varandra i sin kemiska sammansättning. Resultaten vid PCA för data från 1997 visar inget mönster som tyder på grupper av provpunkter som liknar varandra mer än andra provpunkter. Vid PCA med data från 2003 kan man dock se ett visst mönster där den kemiska sammansättningen i grundvattnet liknar varandra. Att det skulle vara samma grundvatten som återfinns inom varje grupp och att det är det som förklarar likheten inom gruppen är inte troligt då avståndet är stort mellan provpunkterna och provpunkternas geografiska placering inte ger sannolikt att det ska finnas likheter. Något uppenbart grupperingsmönster syntes ej för år 2012 men det syns att vissa provpunkter skiljer ut sig från det vanliga mönstret.

I denna utvärdering av grundvattendata har inga statistiska beräkningar utförts för att bedöma om halterna av analyserade parametrar skiljer sig mellan vår/sommar och höst/vinter vid 2012 års provtagningsomgång. Men generellt har proverna från olika årstider stora likheter i grundvattenkemi vid båda provtagningarna. Detta tyder på att förändringar i grundvattnet normalt inte sker snabbt utan att detta är en relativt långsam process i ett trögt system. Hade det funnits stora olikheter i den kemiska sammansättningen i prov tagna i samma grundvattenrör under olika årstider hade det visat sig i PCA.

Då inte samma parametrar analyserats vid varje mättillfälle samt att laboratoriets rapporteringsgräns har sjunkit för många parametrar från 1997 års provtagning till 2012 års provtagning finns det svårigheter att statistiskt klargöra om halterna i grundvattnet verkligen har minskat över tiden. Detta är också en effekt av den metod som använts i denna studie; att halter som rapporterats som mindre än rapporteringsgräns hanterats som att halten var lika med halten som angivits som rapporteringsgräns. Olika varianter är vanliga, man kan hantera en "mindre än"-halt som lika med eller halva rapporteringsgränsen, eller som att halten är noll. Problemet gäller framförallt de organiska ämnena, eftersom halterna för övriga ämnen endast i undantagsfall haft halter under rapporteringsgräns.

Halterna av flera metaller har minskat över åren t.ex. kobolt, krom, koppar och kvicksilver. Detta är mycket positivt ur miljösynpunkt. Grundvattenkvaliteten visar på den kemiska belastningen i samhället. Vidare har halterna av summan av 16 st. PAHer minskat i Stockholm Stad från 1997 till 2012 (data från 2003 är då inte medräknade). För de flesta organiska miljögifter har det dock inte varit möjligt att utföra statistiska test för att undersöka några tidstrender.

7. REFERENSER

Miljöförvaltningen i Stockholm och Naturvårdsverket, Grundvatten i Stockholm – tillgång – sårbarhet- och kvalitet, december 1997.

Miljöförvaltningen i Stockholm Stad, Grundvatten i Stockholm, 2003-2004.

Naturvårdsverkets rapport 4667, Rätt datakvalitet - vägledning i kvalitetssäkring vid miljötekniska markundersökningar, 1996.

<http://www.r-project.org>

<http://www.minitab.com/en-SE/default.aspx>

BILAGA 1A - JONBALANSBERÄKNING ÅR 2012

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
(32)Granholmen *	2011-11-26	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-13,53	13,76	0,8
Kista-åsinslag	2011-11-25	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,28	8,45	1,0
Akalla	2012-06-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,75	12,02	5,6
(54)Spånga torg	2011-11-26	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,20	8,08	-0,7
(30) Johannelundstoppen	2011-11-26	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,32	10,53	1,0
(30) Johannelundstoppen	2011-05-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,05	10,53	-2,4
Kyrksjön	2011-11-26	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,13	8,37	1,4
Kyrksjön	2012-05-06	Fältparametrar analyserade men inte övriga parametrar som krävs för jonbalansberäkning.			
Judarn	2011-12-20	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-6,41	6,77	2,7
(55) Beckomberga	2011-11-26	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjoner som saknas i jonbalansen är B. Detta prov tas bort till statistikdel pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-15,51	9,64	-23,3
(55) Beckomberga	2012-05-06	Anjon som saknas är F. Katjon som saknas är B. Detta prov tas bort till statistikdel pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-9,65	15,37	22,9
Bällstaviken	2012-05-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,52	11,43	-0,4
Bällstaån	2011-12-20	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,82	8,20	2,4
(10 C) Ulvsunda*	2011-11-28	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,36	9,98	8,8
(10 C) Ulvsunda	2012-05-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,50	8,35	-11,4
(56B) Riksby (Lillsjön)	2011-11-28	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,36	7,95	-2,6
(56B) Riksby (Lillsjön)	2012-05-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,16	8,59	2,5
Äppelviken	2012-01-11	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,21	8,30	0,5
Stora mossens koloni omr	2012-05-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,42	7,32	-7,0
(52)Räcksta träsk	2011-12-16	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,51	8,18	-2,0
(74)Brommaplan/reningsv	2011-11-28	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,13	9,01	-0,6
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					>15% dålig balans

BILAGA 1A - JONBALANSBERÄKNING ÅR 2012

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
Hässelby strandbad	2012-05-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,04	7,14	0,8
Malteholmsbadet	2012-05-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,91	7,48	-2,8
Lövstatippen	2011-12-20	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,11	3,12	0,2
Lövsta våtmark	2011-12-20	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,82	8,20	2,4
Lövsta - Riddersvik	2012-06-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,25	11,29	0,2
Kungsholmen Ö	2011-12-16	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,48	6,41	7,9
Kungsholmen Ö	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-6,50	5,17	-11,4
Kungsholmen N	2011-12-16	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,47	10,90	-2,5
(2)Liljeholmen/Trek	2011-12-09	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-15,45	14,56	-3,0
(39)Vinterviken	2011-12-09	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,00	7,38	2,7
Bredäng	2011-12-16	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,15	9,21	0,3
Hägersten	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,91	3,98	1,0
Hägersten-Aspudden	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,77	7,30	11,7
Hägersten-Aspudden	2012-05-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,55	5,76	-13,4
(73)Ålvsjömassan	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-12,07	11,34	-3,1
(57) Stureby	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-14,14	14,68	1,9
(57) Stureby	2012-05-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-15,02	13,73	-4,5
Enskedefältet	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-16,10	15,19	-2,9
Sätrabadet	2012-05-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,31	7,18	-0,9
Sätraån	2012-05-23	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,07	5,16	0,9
Långsjön	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-4,64	4,65	0,2
Högdalstoppen	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-0,97	0,91	-3,3
(23) Gubbängen	2011-11-25	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,73	3,63	-1,4
(23) Gubbängen	2012-05-04	Fältparametrar analyserade men inte övriga parametrar som krävs för jonbalansberäkning.			
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					>15% dålig balans

BILAGA 1A - JONBALANSBERÄKNING ÅR 2012

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
Skogskyrkogården brunn	2011-12-14	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-4,11	4,10	-0,1
Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-01-11	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,49	7,50	0,0
Gla Tyresöv/Skarpnäck	2012-05-04	Fältparametrar analyserade men inte övriga parametrar som krävs för jonbalansberäkning.			
Tallkrogen/Olympiav	2011-11-25	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,64	11,57	4,2
(33)Stora Sköndal/Flaten	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-13,18	12,99	-0,8
(50)Skрубba	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,00	2,93	-1,3
(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	2011-12-14	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,20	8,10	-0,6
Björkhagen	2012-06-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,19	8,80	-2,1
(43)Enskede gård	2011-12-14	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,60	10,69	0,4
Johanneshov	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,86	5,54	-2,9
Gla Enskede/Dagöv	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,27	9,99	-6,0
Gla Enskede/Sockenv	2012-05-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-17,32	17,30	-0,1
Stureby/Kottgatan	2012-06-07	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-12,74	12,74	0,0
Flaten/Spettekakev	2012-01-11	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-4,85	4,51	-3,6
Flaten/Ekens koloniområde	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,39	7,65	1,7
Flaten/dagvattendike	2012-05-23	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,02	8,61	-2,3
Fagersjöviken	2012-01-11	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,74	5,79	0,5
Fagersjöviken	2012-05-04	Fältparametrar analyserade men inte övriga parametrar som krävs för jonbalansberäkning.			
Södermalm V/Verkstadsgr	2012-06-08	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-28,28	27,30	-1,8
Södermalm V/Långholmsg	2012-06-08	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-13,84	13,73	-0,4
Lilla Bleckan	2011-12-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,06	9,84	-5,8
Eriksdalsbadet	2011-12-12	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-4,83	4,65	-1,9
Gla stan/ Slussenproj.	2011-12-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-17,75	15,04	-8,3
Sjöbergs plan	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-2,56	2,68	2,2
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					>15% dålig balans

BILAGA 1A - JONBALANSBERÄKNING ÅR 2012

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
Franska bukten	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,70	6,00	2,6
Kornhamstorg	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,16	11,64	2,1
K-trädg	2011-12-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-1,49	1,61	3,9
(16A) Åsen Norrmalm	2011-12-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,74	8,71	-10,5
Östermalm	2012-06-09	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-14,02	14,36	1,2
S. Östermalm/Strandv	2012-06-09	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-14,29	14,01	-1,0
(19) Engelbrektsplan	2011-12-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-15,35	13,55	-6,2
(19) Engelbrektsplan	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-13,40	14,68	4,6
Vasastan N/Upplandsg	2011-12-15	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,00	7,89	-0,7
Vasastan N/Upplandsg	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,58	8,33	4,7
Vasastan S/Torsgränd	2012-06-08	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-14,34	14,26	-0,3
N Djurgården	2011-12-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-15,78	15,39	-1,3
N. Östermalm/Tessinparken	2012-06-09	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,70	10,58	-0,5
(9A) Värtahamnen	2011-12-05	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-17,21	15,00	-6,9
(8B) Hjorthagen/Tennishallen	2011-12-06	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,07	8,05	-6,0
Bellevue/Norra Länken	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-6,98	7,21	1,6
Bellevueparken/Stallm båtklubb	2012-05-04	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,00	8,27	1,7
Skansen 401	2011-12-22	Anjon som saknas i jonbalansen är F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. Detta prov tas bort till statistikdel pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-7,88	3,77	-35,2
Skansen 401 dubblett	2011-12-22	Använde anjoner från Skansen 401 för jonbalansberäkning. Katjon som saknas i jonbalansen är B. Detta prov tas bort till statistikdel pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-7,88	4,02	-32,4
Skansen 402	2011-12-22	Använde anjoner från Skansen 401 för jonbalansberäkning. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,88	7,89	0,1
Skansen 403	2011-12-22	Använde anjoner från Skansen 401 för jonbalansberäkning. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,88	7,84	-0,3
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					>15% dålig balans

Notering: Orangemarkerade provpunkter har inte ingått i de statistiska beräkningarna för årsvis jämförelse, då det upptäckts i efterhand att dessa provpunkter haft återkommande provtagning. * Ingår inte i statistikdelen för upprepad provtagning (p g a en miss).

BILAGA 1B - JONBALANSBERÄKNING ÅR 2003

Provpunkt	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
(2)Liljeholmen/Trek	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-16,14	13,55	-8,7
3. Liljeholmen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-2,75	3,18	7,3
4. Laduviken	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-3,30	3,87	8,0
5B Norrtull	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-13,02	11,31	-7,0
7 Hammarbyhamnen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-19,04	19,61	1,5
(8B) Hjorthagen/Tennishallen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-9,45	10,65	6,0
(9A) Värtahamnen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-5,64	6,08	3,8
10A. Mariehäll	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-18,51	19,34	2,2
(10 C) Ulvsunda	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-3,95	4,04	1,2
15. Åsen G:a stan	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-32,42	27,17	-8,8
16. G-A Torg	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-2,17	2,62	9,5
20. Södermalm NV	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-10,38	11,17	3,7
22B. Enskedefältet	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-20,63	22,56	4,5
(23) Gubbängen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-3,97	4,19	2,7
28. Högdalstoppen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-2,29	2,49	4,1
(30) Johannelundstoppen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-10,27	10,78	2,4
32. Granholmen *	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-9,19	10,04	4,4
(33)Stora Sköndal/Flaten	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-15,52	15,56	0,1
(39)Vinterviken	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-7,29	7,64	2,4
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997				<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003				5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997				>15% dålig balans

BILAGA 1B- JONBALANSBERÄKNING ÅR 2003

Provpunkt	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
41. Grimsta IP	Anjoner som saknas i jonbalansen är alkalinitet, F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B. Detta prov tas bort från statistikbearbetning pga stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-1,70	5,30	51
(43)Enskede gård	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-8,30	9,42	6,3
44. Roslagstull/Roslagsvägen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-14,00	13,64	-1,3
(50)Skrubba	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B. Stor skillnad i alkalinit mellan mätningar 2012 och 2003. Till jonbalansen användes alkalinitetsresultat från 2012.	-2,84	2,65	-3,3
(52)Råcksta träsk	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-9,17	7,29	-11,4
(53)Enskede/Kärrtorp - Ältasjön	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-8,37	9,78	7,7
(54)Spånga torg	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-7,30	8,02	4,7
(55) Beckomberga	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-12,74	13,91	4,4
(56B) Riksby (Lillsjön)	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-10,72	11,39	3,0
58. Bredäng	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-10,64	11,43	3,6
66. Djurgården	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-7,76	8,15	2,4
70. Skanstullsbron	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-9,66	10,83	5,7
72. Gubbängen	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-38,54	38,01	-0,7
(73)Älvsjömassan	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B. Relativt höga halter av alkalinitet, sulfat och natrium. Detta prov tas bort från statistikbearbetning pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner.	-19,74	13,57	-19
(74)Brommaplan/reningsv	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-8,56	9,34	4,4
78A. Snösättra	Anjoner som saknas i jonbalansen är F, PO ₄ ²⁻ . Katjoner som saknas i jonbalansen är Sr, Mn, Fe, Ba och B.	-7,18	7,73	3,7
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997				<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003				5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997				>15% dålig balans

Notering:* Ingår ej i statistikdelen för upprepad provtagning (en miss).

BILAGA 1C - JONBALANSBERÄKNING ÅR 1997

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
1. Räcksta träsk	1996-10-23	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,41	7,29	-0,8
10B. Mariehäll*	1997-05-20	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,52	10,71	0,9
(10 C) Ulvsunda	1997-08-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,26	6,42	-6,2
11A. Kungsholmen NV/Stadshagen	1996-10-23	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,80	11,70	4,0
11B. Kungsholmen NV/Stadshagen	1997-06-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-14,11	13,73	-1,4
11C. Kungsholmen NV/Stadshagen	1997-06-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,48	9,16	-6,7
12. Åsen, S om Hammarbyhöjden	1997-05-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,21	7,90	-2,0
13. Åsen Johanneshov, Paj 21/5	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-1,92	2,06	3,5
15. Åsen G:a stan	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-28,35	29,09	1,3
16. G A Torg	1997-02-18	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,05	3,13	1,3
(16A) Åsen Norrmalm	1997-08-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,93	9,31	-3,2
18. Åsen Norrtull/ W G C	1996-10-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,30	7,63	2,2
(19) Engelbrektsplan	1996-10-25	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-23,17	24,60	3,0
(2)Liljeholmen/Trek	1997-06-17	Anjoner som analyserats är en summa av NO_3^- och NO_2^- vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		11,43	
20. Södermalm NV	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,39	11,11	3,3
21. Södermalm V	1997-08-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,34	11,77	6,5
22A. Enskedefältet	1996-10-25	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-9,81	9,76	-0,2
22B. Enskedefältet	1996-10-23	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,61	6,24	5,3
(23) Gubbängen	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-4,53	4,82	3,1
24. Älvsjö	1996-10-23	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,37	12,48	4,7
25. Tensta	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,63	6,94	10,5
28. Högdalstoppen	1997-06-17	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>	-1,72	1,78	1,8
3. Liljeholmen	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,51	9,99	-7,0
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997					>15% dålig balans

BILAGA 1C- JONBALANSBERÄKNING ÅR 1997

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
(30) Johannelundstoppen	1996-12-11	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,39	10,26	-0,6
(32) Granholmen	1996-12-11	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-17,09	18,44	3,8
(33) Stora Sköndal/Flaten	1997-06-10	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-12,75	12,47	-1,1
34. Bromma flygfält, n:a änden	1996-12-11	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,30	8,01	-1,8
(39) Vinterviken	1997-02-12	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,71	7,59	-0,8
4. Laduviken	1996-10-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,35	11,11	14,2
41. Råcksta krematorium	1997-02-12	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-3,87	3,75	-1,6
(43) Enskede gård	1997-06-11	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,54	7,24	-2,1
44A. Roslagstull/Roslagsvägen	1997-03-07	Anjoner som saknas är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas är B. Provet representerar övre grundvattenmagasinet.	-32,99	33,85	1,3
44B. Roslagstull/Roslagsvägen	1997-03-07	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. Provet representerar undre grundvattenmagasinet. Detta prov tas bort från statistikbearbetning pga. stor skillnad mellan anjoner och katjoner..	-3,41	5,45	23,0
46A. Tallkrogen/ Sandemarsväge	1997-08-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,39	5,18	-2,0
46B .Tallkrogen/O Nynäsv.	1997-05-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-19,05	18,20	-2,3
47. Johannes brandstn/kyrka	1997-08-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-16,92	14,43	-8,0
49. Nynäsvägen, Gubbängen 2"	1997-06-10	Anjoner som analyserats är en summa av NO_3^- och NO_2^- vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		7,35	
50. Vendelsöv./Skrubba Malm	1997-06-10	Anjoner som analyserats är en summa av NO_3^- och NO_2^- vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		1,97	
52. Bergslagsv./Råcksta 2"	1997-05-07	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>	-13,74	10,95	-11,3
(53) Enskede/Kärretorp Ältasjön	1997-06-11	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		7,16	
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 1997					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997					>15% dålig balans

BILAGA 1C- JONBALANSBERÄKNING ÅR 1997

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
(54)Spånga torg	1997-06-09	Anjoner som analyserats är en summa av NO ₃ ⁻ och NO ₂ ⁻ vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		7,67	
(55) Beckomberga	1997-06-09	Anjoner som analyserats är en summa av NO ₃ ⁻ och NO ₂ ⁻ vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		11,32	
56A. Riksby	1997-06-09	Anjoner som analyserats är en summa av NO ₃ ⁻ och NO ₂ ⁻ vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		8,95	
(57) Stureby	1997-06-11	Anjoner som analyserats är en summa av NO ₃ ⁻ och NO ₂ ⁻ vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>		13,09	
58. Bredäng	1997-06-06	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO ₄ ²⁻ , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B. <i>Korrigerat Mn halten.</i>	-14,89	13,07	-6,5
5A. Norrtull	1996-10-22	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO ₄ ²⁻ , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-28,42	29,45	1,8
66. Djurgården	1997-06-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO ₄ ²⁻ , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-8,50	8,31	-1,1
67. Albano	1997-06-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO ₄ ²⁻ , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-10,92	10,69	-1,1
69. Skrubba/Tyresö	1997-10-29	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		0,78	
70. Skanstullsbron	1997-09-04	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		2,93	
71. Blåsut	1997-10-31	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		12,89	
72. Nynäsv/McDonalds	1997-09-10	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		10,89	
73. Älvsjömassan	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		15,48	
76. Sköndal	1997-09-10	Saknar analys av alla anjoner. Katjoner som saknas i jonbalansen är B.		14,86	
77A. Högdalstippen	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		10,70	
77B. Högdalstippen	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		12,63	
77C. Högdalstippen	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		6,47	
78A. Snösättra	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		7,38	
78B. Snösättra	1997-09-09	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		12,69	
79A. Johannelundstippen	1997-10-28	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		21,12	
79B. Johannelundstippen	1997-10-28	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		13,53	
79C. Johannelundstippen	1997-10-28	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		12,82	
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997					>15% dålig balans

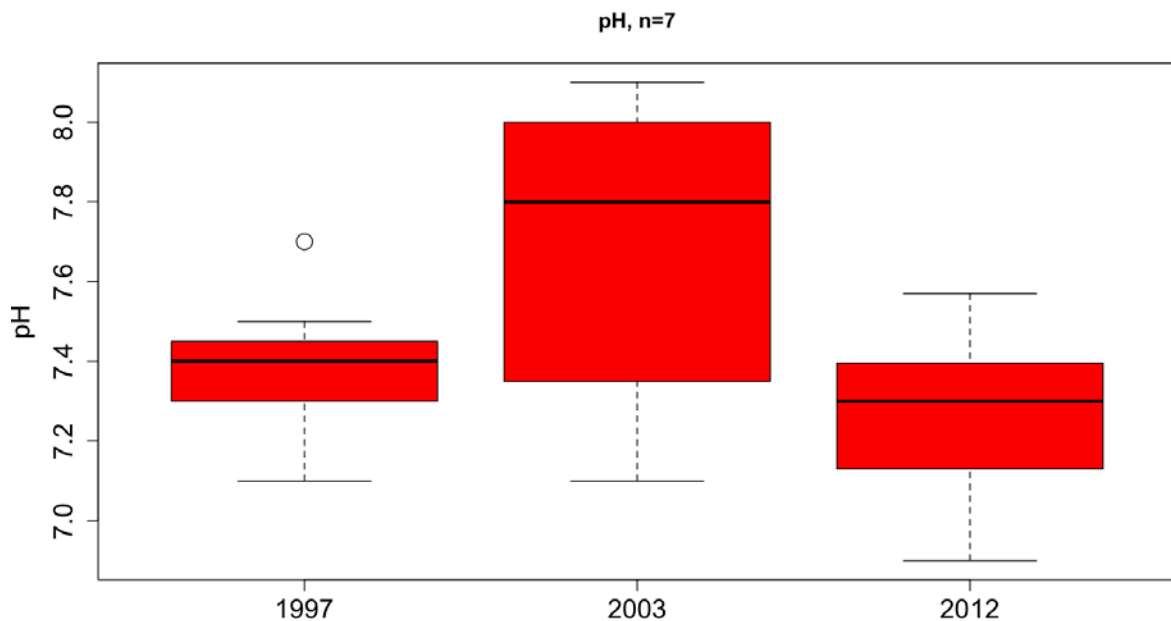
BILAGA 1C- JONBALANSBERÄKNING ÅR 1997

Provpunkt	Provtagningsdatum	Kommentar	[Anjoner]	[Katjoner]	Error (%)
7A. S:a Hammarbyhamnen	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-13,80	14,47	2,4
7B. Hammarbyhamnen	1996-10-24	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-7,22	6,16	-7,9
80. Bolidenplan	1997-10-30	Saknar analys av alla anjoner. Katjon som saknas i jonbalansen är B.		26,84	
8A. Hjorthagen, N:a kajen	1996-10-25	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-5,00	5,38	3,6
(8B) Hjorthagen/Tennishallen	1996-10-25	Anjoner som saknas i jonbalansen är PO_4^{2-} , F. Katjon som saknas i jonbalansen är B.	-11,68	11,00	-3,0
9A. Värtahamnen	1996-10-25	Anjoner som analyserats är en summa av NO_3^- och NO_2^- vilket inte är tillräckligt för beräkning av [anjoner]. Katjon som saknas är B.		10,81	
Upprepad provtagning 2012, 2003 och 1997					<5% bra balans
Upprepad provtagning 2012 och 2003					5-15% ok balans
Upprepad provtagning 2003 och 1997					>15% dålig balans

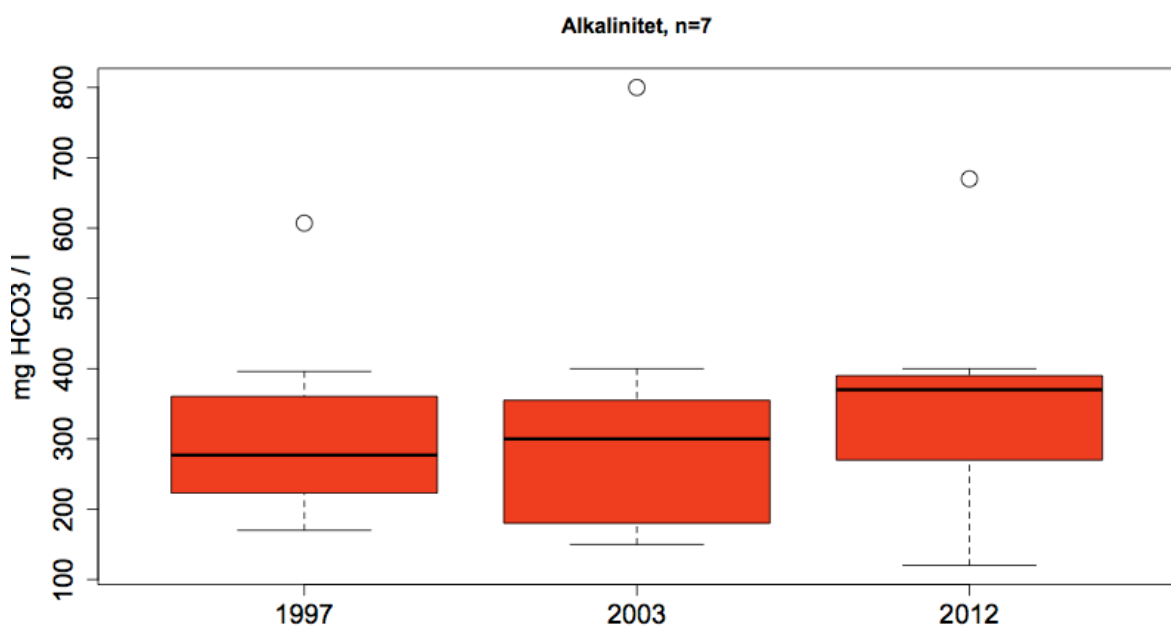
Noteringar: *Provpunkten med benämning (10A) Mariehäll saknar data och finns därför ej med i jonbalansberäkningen, men provtogs också 2003.

Orangemarkerade provpunkter d.v.s. upprepade provtagningar 2012 och 1997, ingår inte i de statistiska beräkningarna vid upprepade provtagningar. Anledningen var att dessa provpunkter upptäcktes efter genomförda statistiska beräkningar.

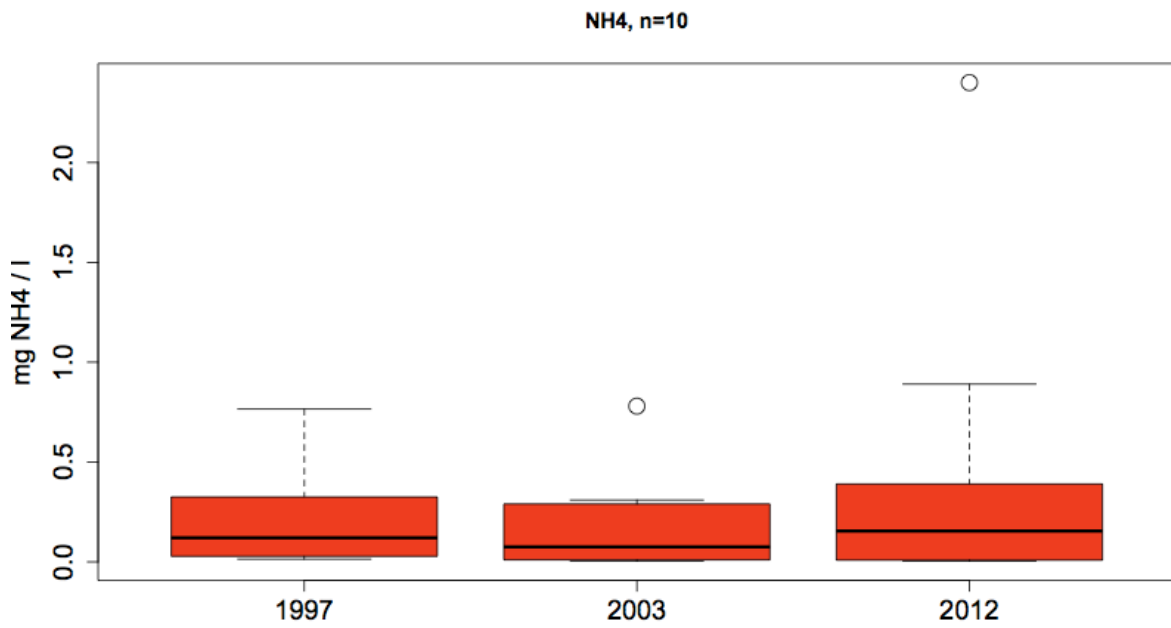
Halter presenterade med box-plottar årsvis. I boxen finns 50% av halterna och den grova linjen visar medianhalten för respektive år. Vidare visas spridningen och avvikare eller s,k, outliers, P-värden med fet stil visar att det är en signifikant skillnad i halten.



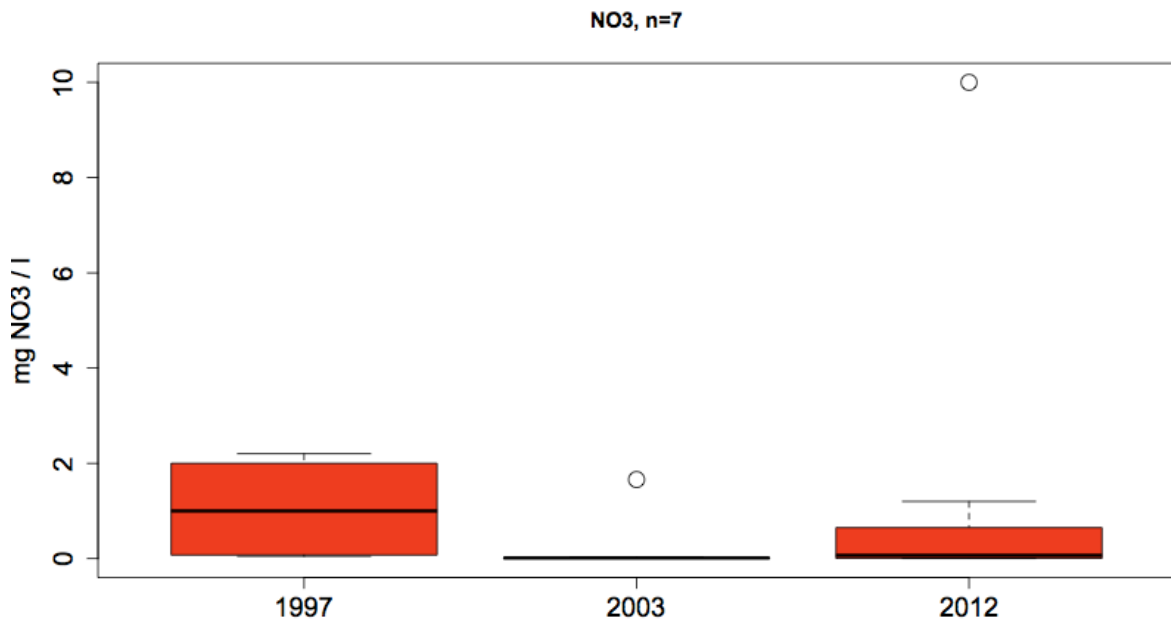
Kruskal-Wallis chi-squared = 3,7252, df = 2, p-värde = 0,1553



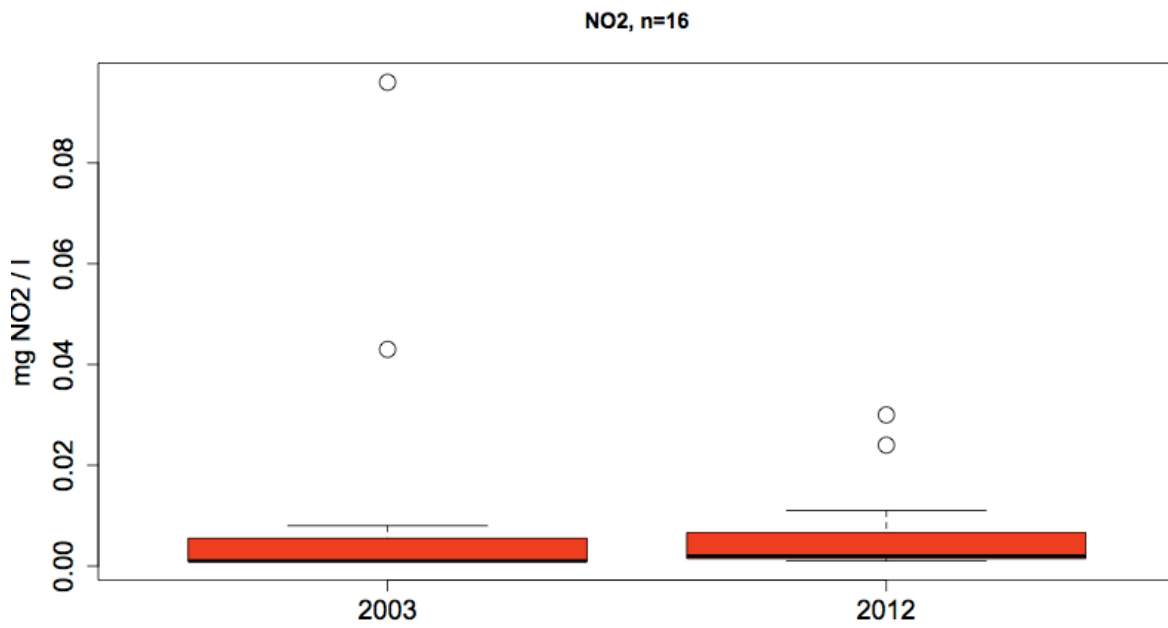
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,5254, df = 2, p-värde = 0,769



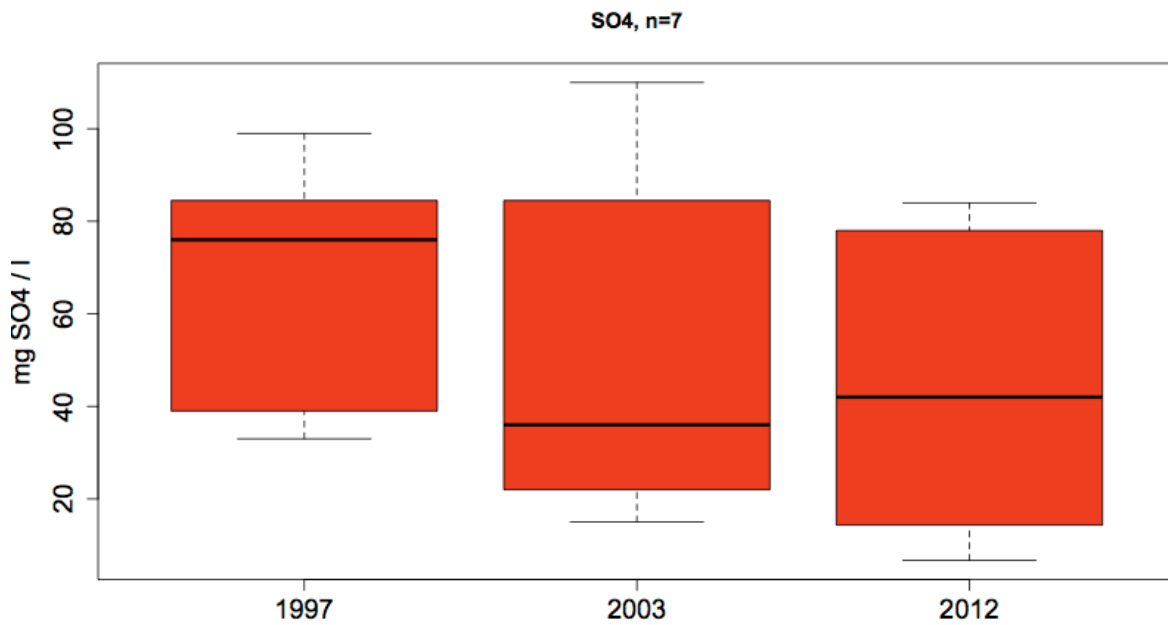
Kruskal-Wallis chi-squared = 1,1187, df = 2, p-värde = 0,5716



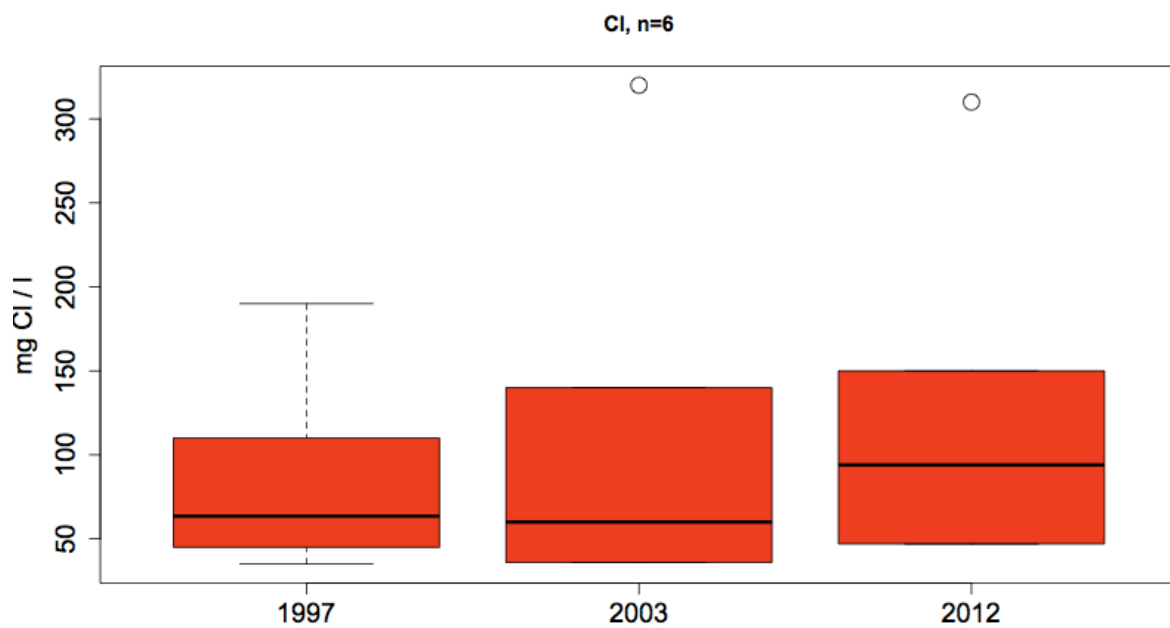
Kruskal-Wallis chi-squared = 5,433, df = 2, p-värde = 0,0661



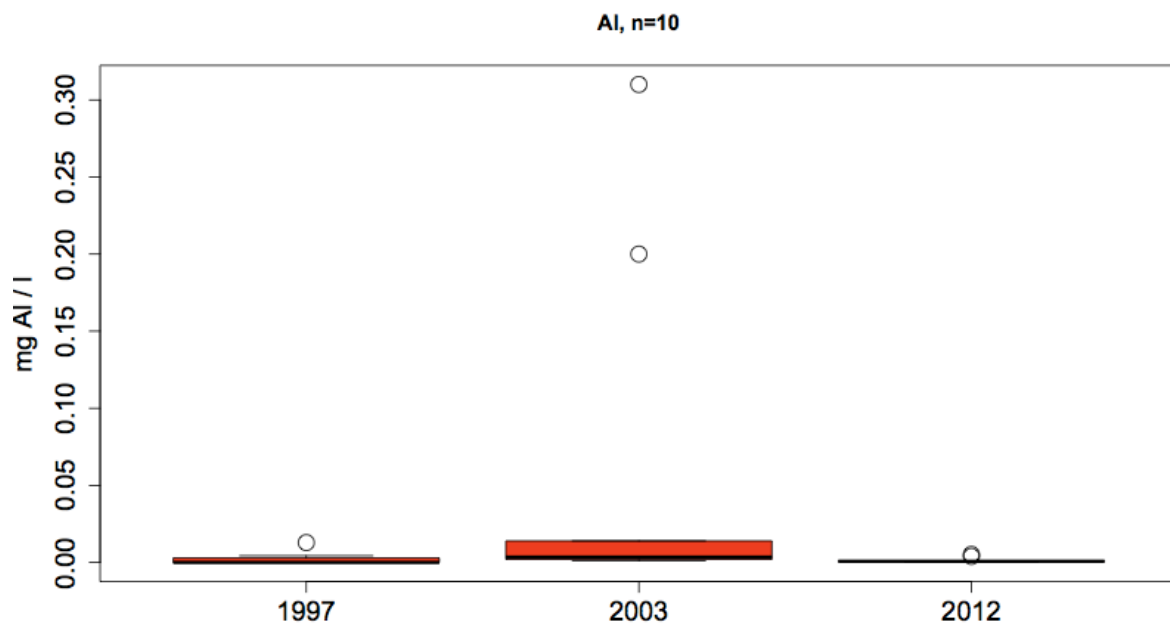
Wilcoxon rank summa test $W = 95,5$, p-värde = 0,2145



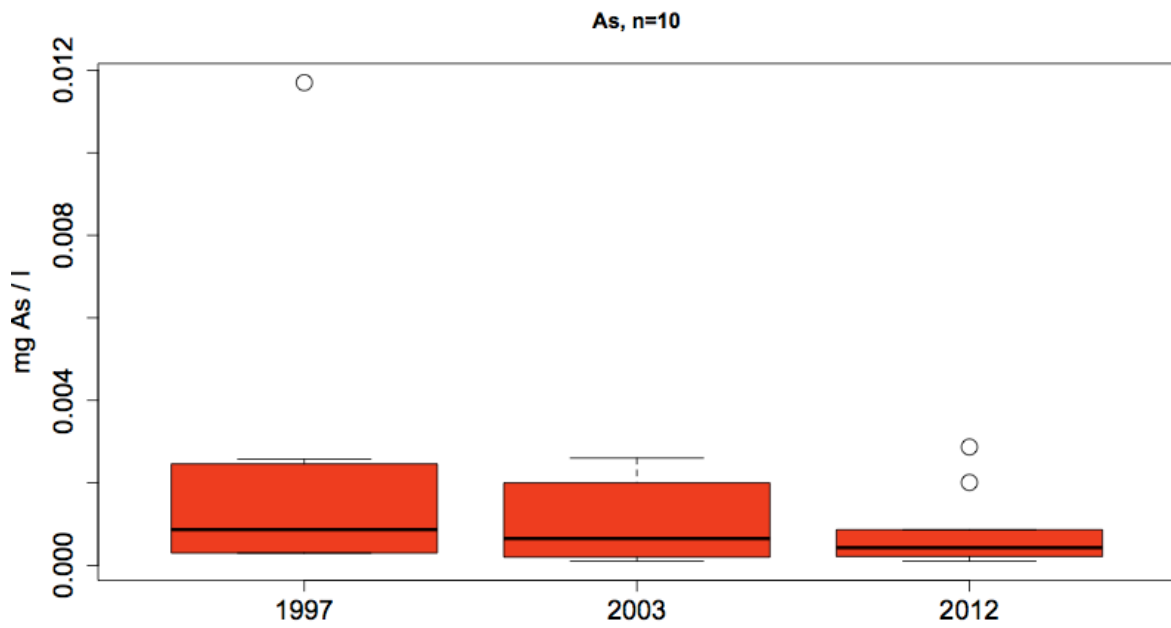
Kruskal-Wallis chi-squared = 1,5437, df = 2, p-värde = 0,4621



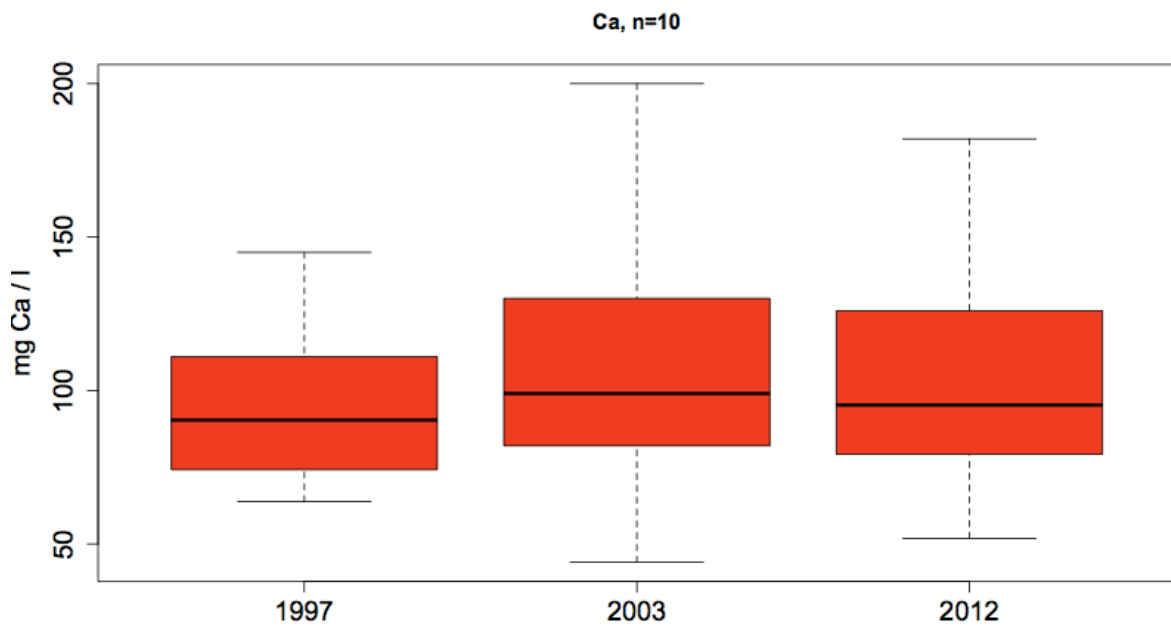
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,504, df = 2, p-värde = 0,7773



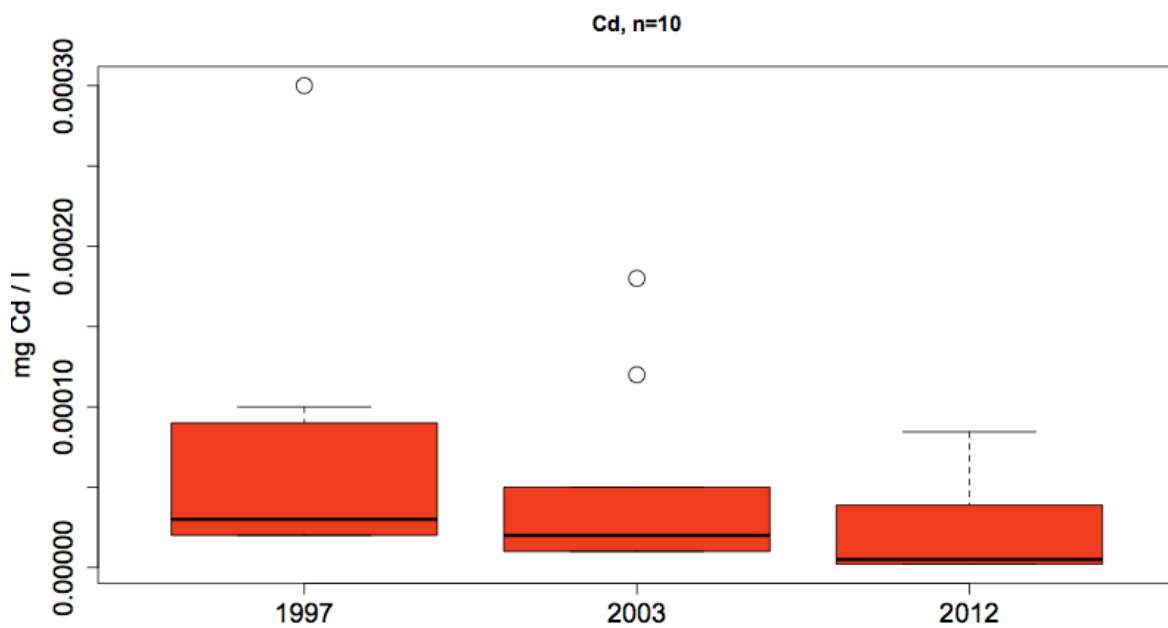
Kruskal-Wallis chi-squared = 8,6948 , df = 2, p-värde $\leq 0,05$



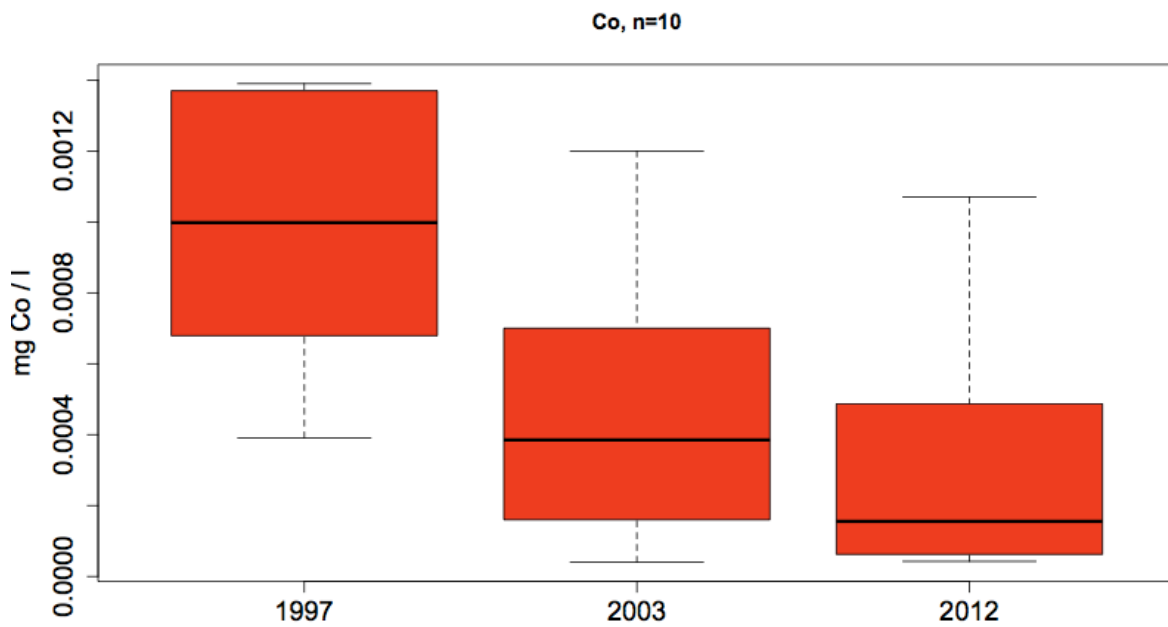
Kruskal-Wallis chi-squared = 1,3021, df = 2, p-värde = 0,5215



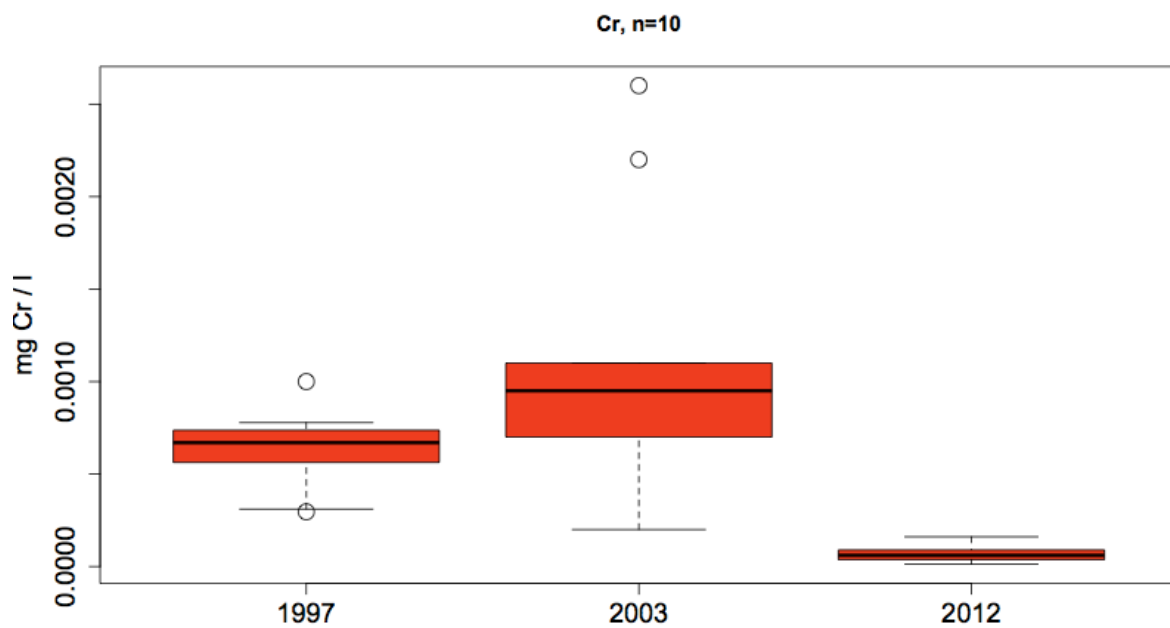
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,3661, df = 2, p-värde = 0,8327



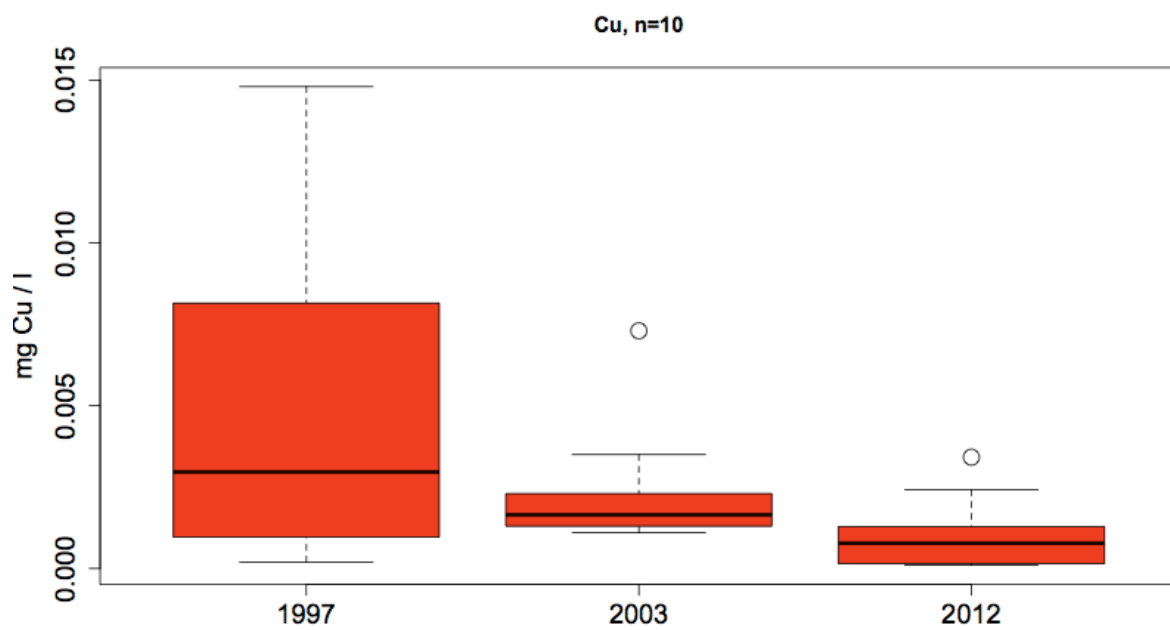
Kruskal-Wallis chi-squared = 5,4026, df = 2, p-värde = 0,06712



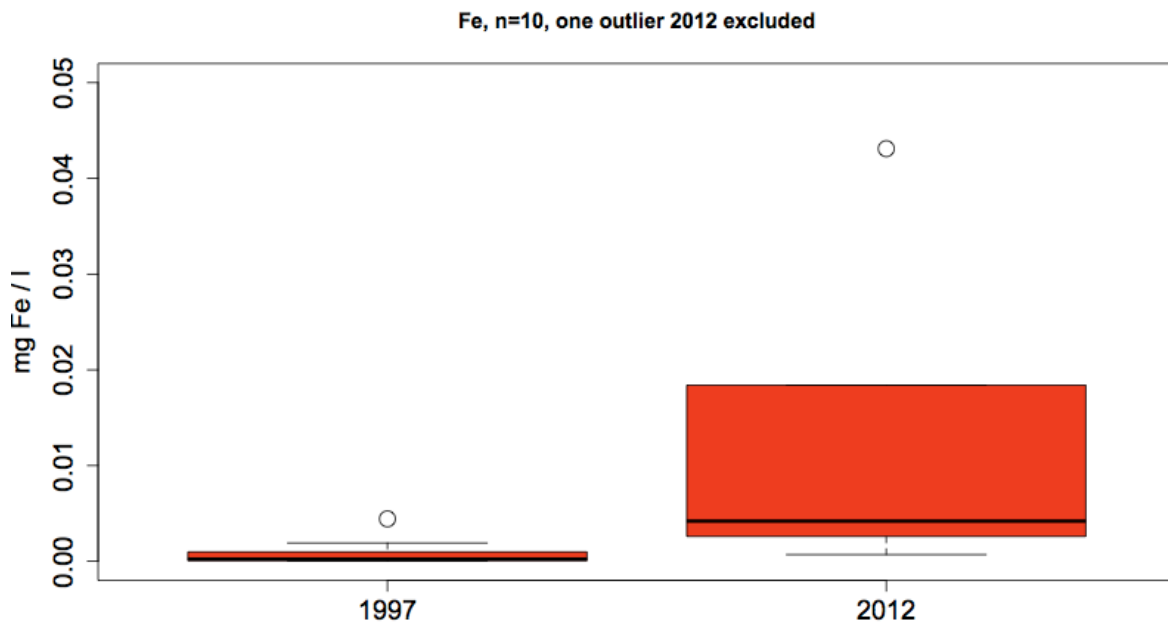
Kruskal-Wallis chi-squared = 9,7902, df = 2, p-värde $\leq 0,05$



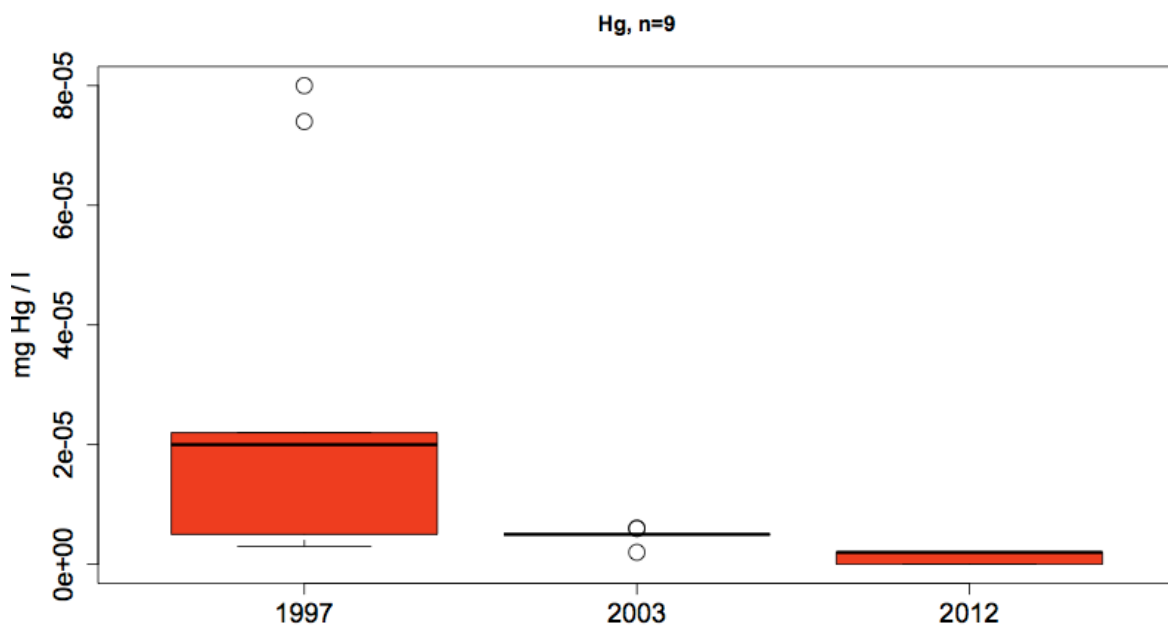
Kruskal-Wallis chi-squared = 20,9132, df = 2, p-värde $\leq 0,05$



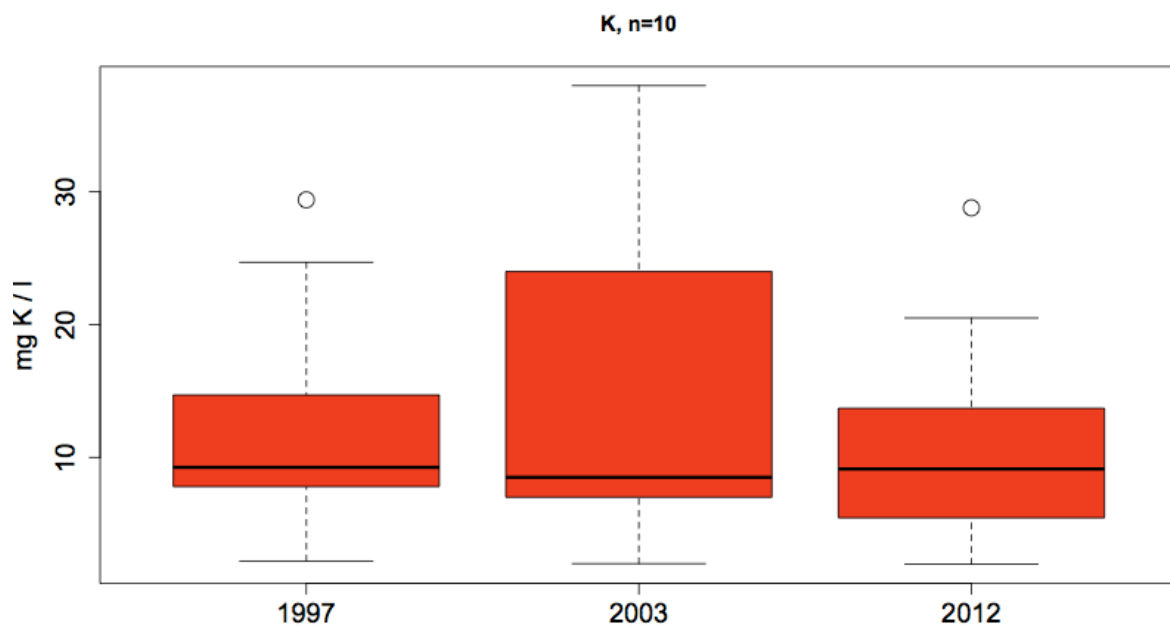
Kruskal-Wallis chi-squared = 6,723, df = 2, p-värde $\leq 0,05$



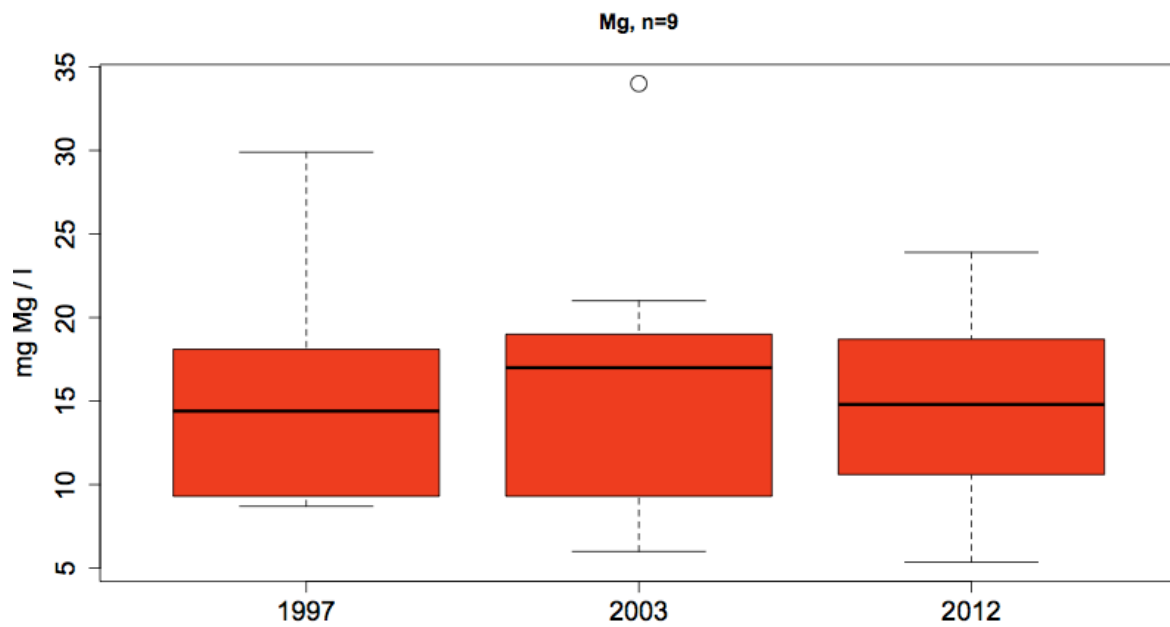
Observera att en outlier är borttagen från boxplotten (0,459). Wilcoxon rank summa test
 $W = 8$, p-värde $\leq 0,05$



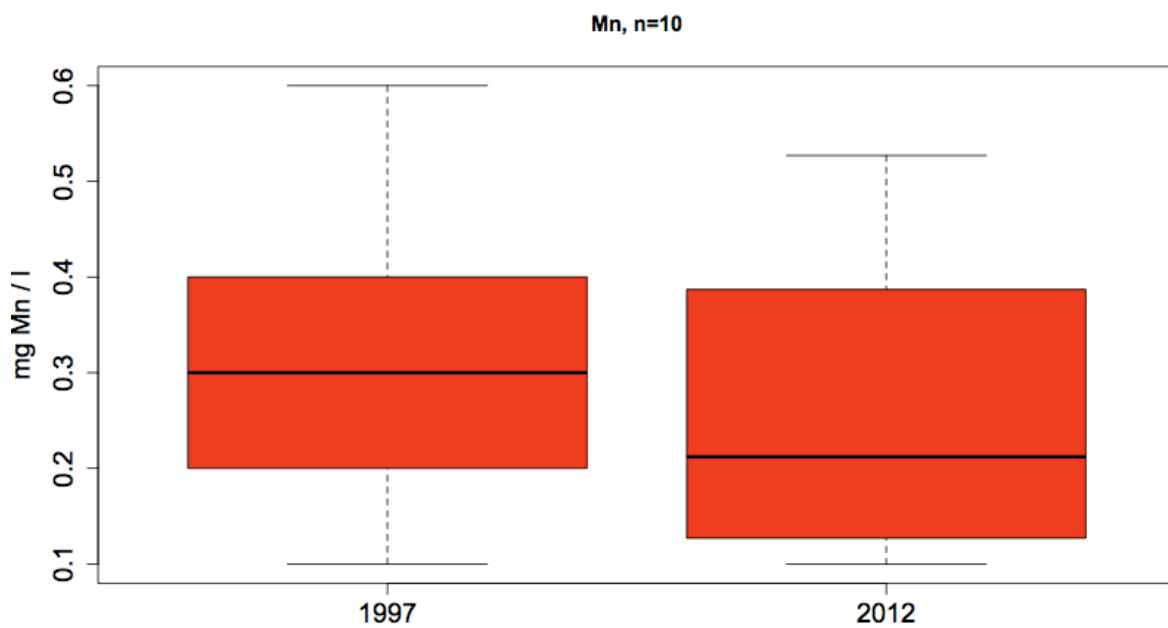
Kruskal-Wallis chi-squared = 18,3045, df = 2, p-värde $\leq 0,05$



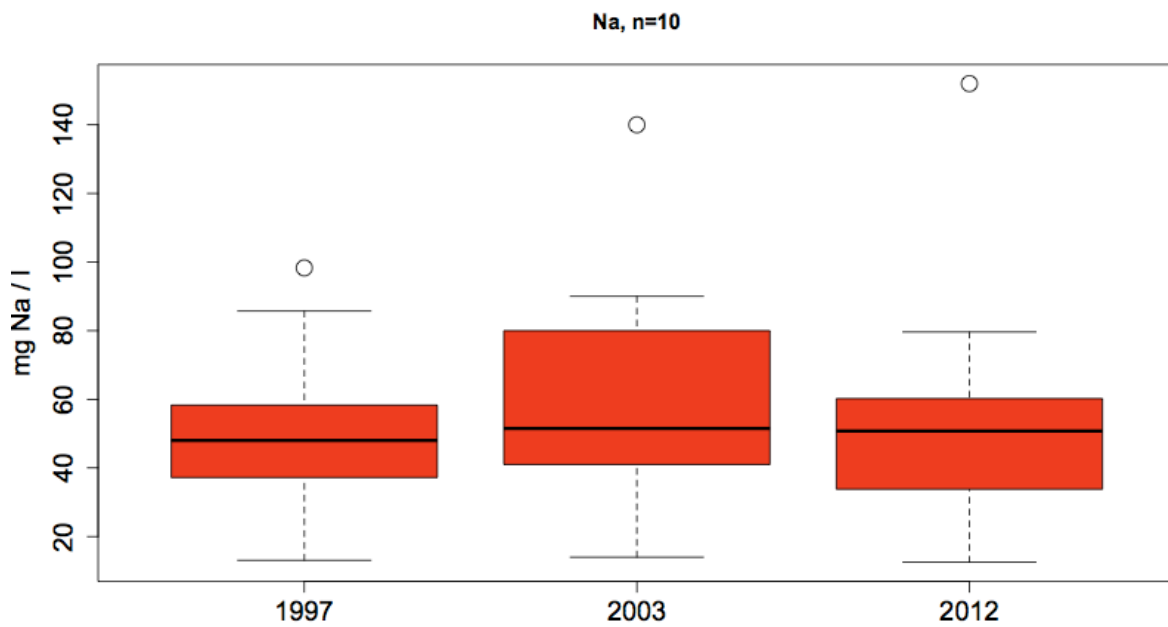
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,1575, df = 2, p-värde = 0,9243



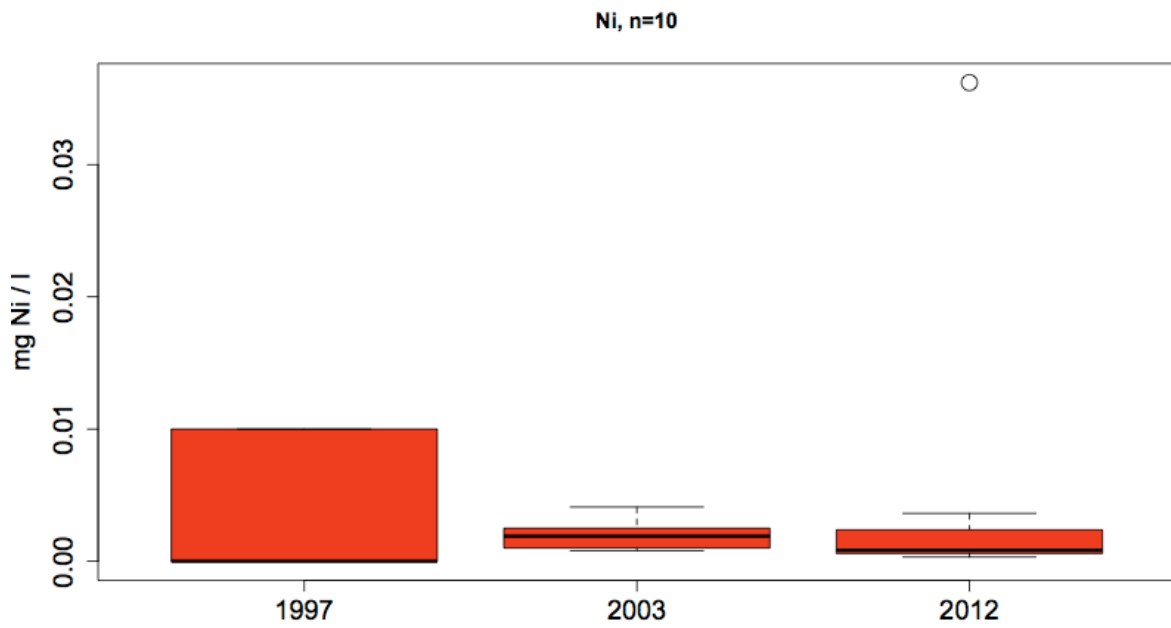
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,1175, df = 2, p-värde = 0,9429



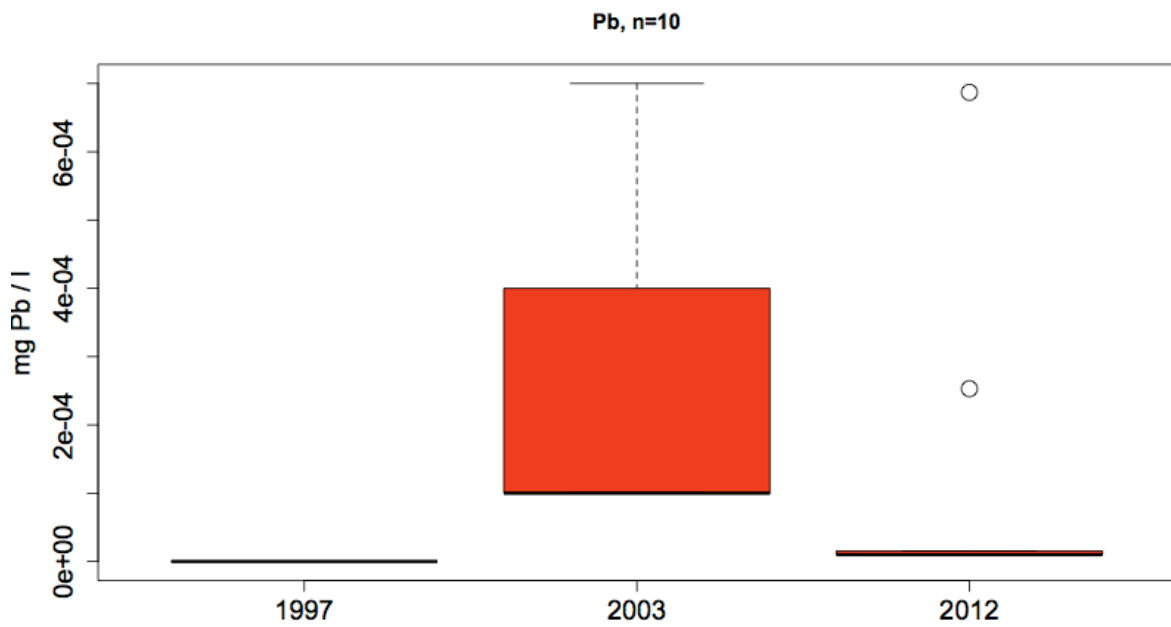
Wilcoxon rank summa test $W = 62$, p-värde = 0,3834



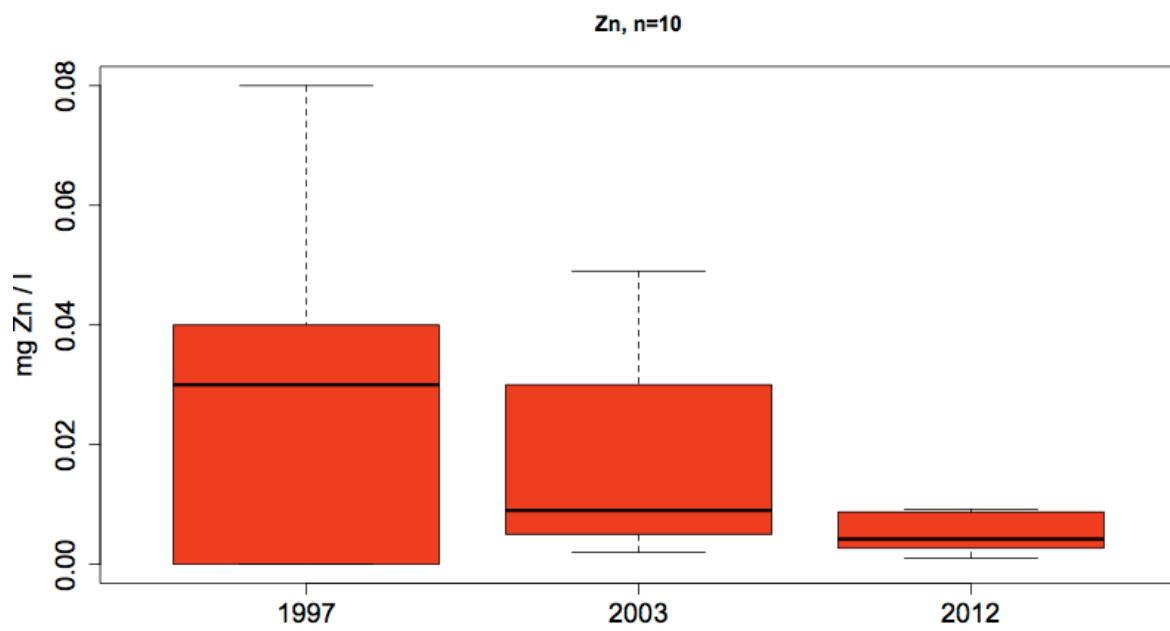
Kruskal-Wallis chi-squared = 0,1942, df = 2, p-värde = 0,9074



Kruskal-Wallis chi-squared = 4,4301, df = 2, p-värde = 0,1091



Kruskal-Wallis chi-squared = 23,9572, df = 2, p-värde $\leq 0,05$



Kruskal-Wallis chi-squared = 4,3225, df = 2, p-value = 0,1152