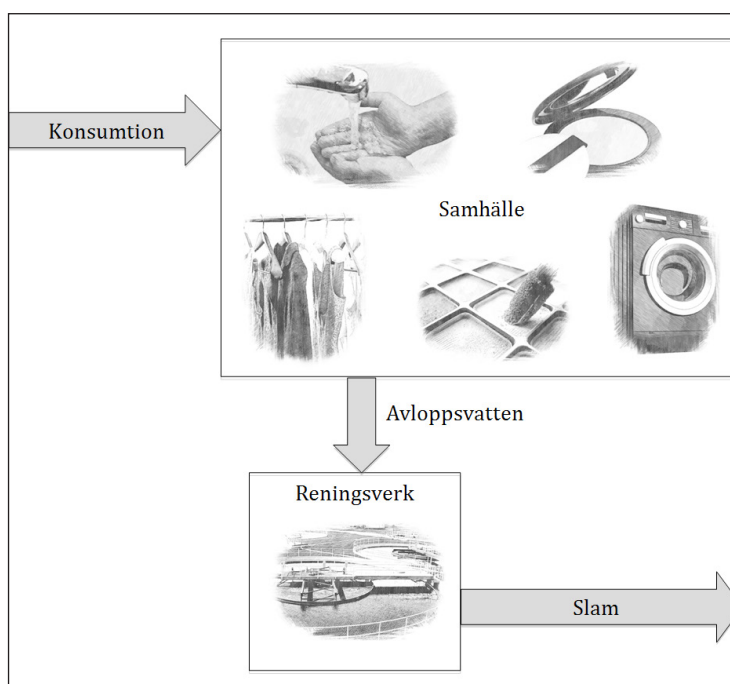


Strategier att reducera silver och vismut i urbant avloppsvatten

*Jennie Amneklev
Bo Bergbäck
Louise Sörme
Ragnar Lagerkvist
Maria Kotsch
Anna Augustsson*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Strategier att reducera silver och vismut i urbant avloppsvatten
Title of the report:	Strategies to reduce silver and bismuth in urban wastewater
Författare:	Jennie Amneklev, Linnéuniversitetet, Bo Bergbäck, Linnéuniversitetet, Louise Sörme, Statistiska Centralbyrån, Ragnar Lagerkvist, Stockholm Vatten, Maria Kotsch, Stockholm Vatten, Anna Augustsson, Linnéuniversitetet
Rapportnummer:	2014-10
Antal sidor:	80
Sammandrag:	Silver och vismut är prioriterade enligt REVAQ. Genom en substansflödesanalys identifierades källor för dessa metaller till Henriksdals reningsverk i Stockholm, 2012. Källor motsvarande 56 % av uppmätt mängd silver och 49 % av uppmätt mängd vismut i slam kunde identifieras. Strategier för åtgärder diskuteras.
Abstract:	Silver and bismuth are prioritized in REVAQ. A substance flow analysis identified sources of these metals in Henriksdal treatment plant in Stockholm, 2012. Sources corresponding to 56 % of the measured amount of silver and 49 % of the measured amount of bismuth in sludge could be identified. Strategies for measures are discussed.
Sökord:	Silver, vismut, substansflödesanalys, urbant avloppsvatten, slam
Keywords:	Silver, bismuth, substance flow analysis, urban wastewater, sewage sludge
Målgrupper:	Tjänstemän på avloppsreningsverk, tillsynsmän, personer som arbetar med uppströmsarbete, myndigheter, forskare
Omslagsbild:	Principskiss över silver- och vismutkällor till avloppsreningsverk
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2014
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	12-119
Projektets namn:	Strategier att reducera silver och vismut i urbant avloppsvatten
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Linnéuniversitetet

Förord

Olika substanser i produkter kan idag vara ett hinder för att slam från reningsverk i Sverige ska kunna användas som växtnäring på produktiv åkermark. Silver och vismut är två metaller som har bland de högsta ackumuleringsstakterna i mark i samband med slamspridning. Silver och vismut är därför prioriterade enligt REVAQ, ett certifieringssystem för svenska reningsverk.

Föreliggande projekt syftade till att finna strategier för att reducera silver och vismut i urbant avloppsvatten. Substansflödeanalys valdes som metod med fokus på flöden av silver och vismut till Henriksdals reningsverk i Stockholm. Projektet har genomförts som ett samarbete mellan Linnéuniversitetet, Statistiska Centralbyrån och Stockholm Vatten AB.

Ett examensarbete har genomförts inom projektet med titeln Silver och vismut i plaster och färger – källor till förhöjda halter i slam. Vi vill rikta ett varmt tack till Maja Beckman som utförde sitt examensarbete i Miljövetenskap vid Linnéuniversitetet.

Ett varmt tack riktas även till Cajsa Wahlberg, Stockholms Vatten, för värdefulla kommentarer på rapporten.

Kalmar / Stockholm, december 2013

Bo Bergbäck, Linnéuniversitetet (projektledare)

Jennie Amneklev, Linnéuniversitetet (huvudförfattare för rapport)

Louise Sörme, Statistiska Centralbyrån

Ragnar Lagerkvist, Stockholm Vatten

Maria Kotsch, Stockholm Vatten

Anna Augustsson, Linnéuniversitetet

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Introduktion	8
1.1 Syfte och avgränsningar	8
2 Bakgrund.....	10
2.1 Silver	10
2.2 Vismut	14
2.3 REVAQ	17
2.4 Lagstiftning	17
3 Metod – substansflödesanalys (SFA)	18
3.1 Applicering av SFA i denna studie	19
3.2 Osäkerheter	20
4 Silver resultat och diskussion	21
4.1 Källor till reningsverk	21
4.2 Inflöde till Stockholms teknosfär	26
4.3 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)	27
5 Vismut resultat och diskussion	28
5.1 Källor till reningsverk	28
5.2 Inflöde till Stockholms teknosfär	30
5.3 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)	31
6 Resultatsammanfattning silver och vismut.....	33
6.1 Textilier	35
6.2 Kosmetika	36
6.3 Hushåll (exklusive textilier och kosmetika).....	36
6.4 Verksamheter.....	36
6.5 Övriga bidrag	36

7	Strategier för reduktion av silver och vismut i urbant avloppsvatten	37
7.1	Textiler	37
7.2	Kosmetika	38
7.3	Hushåll (exklusive textilier och kosmetika).....	39
7.4	Verksamheter.....	39
7.5	Övriga bidrag	40
7.6	Kunskapsluckor – fortsatt arbete	40
8	Referenser.....	41
9	Bilagor.....	48
9.1	Bilaga 1: Silver – Beskrivning och beräkningar	48
9.2	Bilaga 2: Vismut – Beskrivning och beräkningar	60
9.3	Bilaga 3: Kosmetika urval och analys	68
9.4	Bilaga 4: Fordonstvättar undersökning.....	74
9.5	Bilaga 5: Statistik	76

Sammanfattning

Silver och vismut är två metaller som på sikt kan anrikas i mark i samband med slamspridning och som därför är prioriterade enligt REVAQ, ett certifieringssystem för svenska reningsverk.

I Naturvårdsverkets förslag till ny författning (slamförordning) föreslås gränsvärden för bland annat silver. Silver är en toxisk tungmetall med antibakteriella egenskaper som ger skadliga effekter på båda människors hälsa och miljö redan vid låga koncentrationer. Vismut är en tungmetall som anses vara "ogiftig" men som också kan ge skadliga effekter vid högre koncentrationer.

En substansflödesanalys utfördes för båda metallerna för att kartlägga inflödet till, stocken (upplagrad mängd i teknosfären) och utflödet från Stockholm under 2012. Avgränsning har gjorts till utflöden som hamnar i avloppsvattnet och på det sättet påverkar Henriksdals reningsverk. Utflödet i substansflödesanalysen blir därmed lika med ett inflöde till reningsverket. Fokus ligger på diffusa utsläpp av silver och vismut, men identifierade punktkällor räknas in i det slutliga resultatet med målet att förklara så mycket som möjligt av de uppmätta halterna av silver och vismut i Henriksdals reningsverk. Källor som har ett utflöde till avfall eller återvinning har inte inkluderats i denna rapport.

För år 2102 uppmättes en tillförsel av 61 kg silver och 116 kg vismut för Henriksdals reningsverk i Stockholm. Källor har identifierats för ca 56 % av uppmätt silver och 49 % av uppmätt vismut i denna studie. De källor med störst bidrag silver bedöms vara textilier (19 %), urin och fekalier (från bland annat amalgamfyllningar och föda) (15 %) samt städprodukter (7 %). För vismut är det kosmetika (23 %), plast (13 %) samt fordonstvättar (9 %) som bedöms vara källor med störst bidrag.

Utifrån erhållna resultat föreslår vi några åtgärder/strategier för reduktion av silver respektive vismut i urbant avloppsvatten. Vi diskuterar även aktörer som har möjlighet/rådighet att genomföra åtgärderna (Svenskt Vatten, avloppsreningsverk, myndigheter, producenter, verksamhetsutövare samt individer/konsumenter). En strategi som föreslås är att myndigheter ska informera och påverka producenter och verksamhetsutövare när det gäller silver och vismut i olika produkter samt verka för ändrad lagstiftning. Producenter kan ta ett eget ansvar att minska silver- och vismutinnehåll i produkter. Två identifierade kunskapsluckor och potentiella källor är silver i städprodukter samt vismut i plast.

Summary

Silver and bismuth are two metals that in the future can accumulate in soil due to the use of sludge on arable land and which therefor are prioritized in REVAQ, a certificate system for Swedish waste water treatment plants. The Swedish Environmental Protection Agency has a proposal for a new regulation (sludge regulation) that includes a suggestion of limits for silver. Silver is a toxic heavy metal with antibacterial properties that already in low concentration has harmful effects on both human health and the environment. Bismuth is a heavy metal that is considered “nontoxic” but it has harmful effects at higher concentrations.

A substance flow analysis was conducted for both metals to map out the inflow to, the stock (accumulated amount in the technosphere) and the outflow from Stockholm during 2012. Delimitation was made to the outflow ending up in wastewater, which reaches Henriksdal wastewater treatment plant. The outflow in the substance flow analysis is therefor equal to the inflow to the treatment plant. Focus has been on diffuse emissions of silver and bismuth, however identified point sources have been included in the final result to explain as much as possible of the measured amount of silver and bismuth in Henriksdal wastewater treatment plant. Sources with an outflow to waste or recycling have been excluded from this report.

During 2012, 61 kg silver and 116 kg bismuth were measured in the sludge in Henriksdal wastewater treatment plant. Sources explaining 56 % of the measured amount of silver and 49 % of the measured amount of bismuth have been identified in this study. The sources with the largest contribution of silver are estimated to be textiles (19 %), urine and faeces (from for example amalgam fillings and food) (15 %) as well as cleaning products (7 %). For bismuth cosmetics (23 %), plastic (13 %) and vehicle washing (9 %) are considered to have the largest contributions.

Based on the given results, we suggest some measures/strategies for the reduction of silver and bismuth in urban wastewater. We also discuss who may implement measures (Swedish Water, wastewater treatment plants, governments, producers, business practitioners and individuals/consumers). One strategy recommended is that governments inform and influence producers and business practitioners about silver and bismuth in different products as well as work towards a modified legislation. Producers also have a responsibility to decrease the amount of silver and bismuth in products. We have identified a gap in knowledge about two potential sources; silver in cleaning products and bismuth in plastic.

1 Introduktion

Utsläppen av kemikalier från samhället har under de senaste årtiondena förändrats på flera olika sätt, dels har antalet och mängden ämnen som används i samhället ökat drastiskt, inte minst i de konsumentvaror som vi använder dagligen, men källorna har dessutom förändrats från att ha varit väldefinierade industriutsläpp till att vara diffusa utsläpp från exempelvis just de varor vi omger oss med. Utvecklingen mot mer diffusa källor har inneburit att det är svårt att få en övergripande bild av varifrån utsläppen sker. En stor del av utsläppen från diffusa källor hamnar i inkommande vatten till våra avloppsreningsverk vilket kan resultera i för höga halter av oönskade ämnen i slammet. Målet är att detta slam, tack vare sitt höga näringsinnehåll, ska kunna användas som en resurs och återföras till våra åkrar, vilket försvåras om det innehåller oönskade ämnen.

Det tidigare miljö kvalitetsmålet 15, *God bebyggd miljö*, hade som delmål att ”senast år 2015 skall minst 60 procent av fosforföreningarna i avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften bör återföras till åkermark” (Naturvårdsverket, 2012). Ett nytt förslag från Naturvårdsverket föreslår en 40 % fosforåterföring till år 2018 och de föreslår även gränsvärden för silver (Naturvårdsverket, 2013). Både silver och vismut är prioriterade av REVAQ (REVAQ, 2013). Enligt REVAQs certifieringssystem får inte ackumuleringsstakten för metaller i mark överstiga 0,2 % per år vid användning av slam. Under 2012 hade vismut (Bi) en ackumuleringshastighet på 0,6 % och silver (Ag) låg på 0,8 % mätt som medelvärde i slam hos svenska reningsverk. Därmed har silver och vismut (tillsammans med guld) den högsta ackumuleringsstakten av de 60 spårämnen som analyserats i reningsverken i Sverige. Vismut har påträffats med en ackumuleringshastighet över 0,2 % hos 79 % av de undersökta verken och silver hos 82 %. För vismut har denna siffra minskat sedan 2011 medan den ökat för silver. Halterna av silver hos reningsverk runt om i Sverige har minskat de senaste 25 åren men sedan 2007/2008 börjat plana ut. Vismuthalterna har ökat under 2000-talet men börjat plana ut sedan 2008.

1.1 Syfte och avgränsningar

Syftet med rapporten är att identifiera källor till silver och vismut som påverkar inkommande avloppsvatten till ett reningsverk. Detta görs genom en substansflödesanalys där inflöde, stock och utflöde av silver och vismut beräknas för år 2012. Med stock menas den upplagrade mängd av en substans som kan finnas i ett samhälle. Fokus ligger på Stockholm stad och personer anslutna till Henriksdals reningsverk. År 2012 var 782 600 personer anslutna till reningsverket (Stockholm Vatten, 2013a).

Avgränsning har gjorts till utflöden som hamnar i avloppsvattnet och på det sättet påverkar mängderna av silver och vismut i slammet hos Henriksdals reningsverk. Utflödet i substansflödesanalysen blir därmed lika med ett inflöde till reningsverket. Fokus ligger på diffusa utsläpp av silver och

vismut, men identifierade punktkällor räknas in i det slutliga resultatet med målet att förklara så mycket som möjligt av de uppmätta halterna av silver och vismut i Henriksdals reningsverk. Flöden och produkter som har ett utflöde till avfall eller återvinning har inte inkluderats i denna rapport.

2 Bakgrund

2.1 Silver

2.1.1 Egenskaper och förekomst

Silver har använts sedan omkring 4000 f Kr och är en mjuk, vit, glänsande metall känd för dess reflekterande förmåga. Den förekommer i naturen mest som Ag (1) eller Ag (0) och då främst som argentite (Ag_2S) men även som stephanite (Ag_5SbS_4) (Bowen, 1985). Rent silver är väldigt ovanligt i naturen (Enghag, 2004). Silver bryts vanligen ihop med guld, koppar, bly och zink (Silverinstitutet, 2012). I Europa bryts metallen främst i Frankrike, Spanien, Tyskland, Tjeckien, Slovakien, före detta Jugoslavien, Sardinien och Grekland.

Rent silver är för mjuk för de flesta ändamål och används därför ofta som legering ihop med andra metaller (Enghag, 2004). Silver är den metall med högst elektrisk ledningsförmåga och den högsta värmeledningsförmågan (GFMS, 2011a), liksom den högsta reflektionsförmågan och den vitaste färgen (Enghag, 2004). Den är mycket formbar och motståndskraftig mot alkalier och de flesta syror, den löses endast av salpetersyra. Silver är stabil i både vatten och luft, resistent mot syra och bas men korroderar när den kommer i kontakt med svavelföreningar (Enghag, 2004). Metallen binder snabbt till partiklar och bildar gärna komplex med svavelinnehållande ligander. Den binder vanligtvis starkt till svavel(S)-innehållande och jod(I)-innehållande ligander och svagt till kväve(N)-innehållande och syre(O)-innehållande ligander. Bindningarna mellan silver och reducerat svavel är omkring 1000 gånger starkare än bindningarna med kväve eller klor. Uppehållstiden för silver i de flesta akvatiska system är kort jämfört med andra metaller (Kramer et al., 2002). Den binds i sediment men kan frigöras till vattenfasen vid störning av sedimenten. I sötvatten är silver mest närvarande som Ag^+ och AgCl och i havsvatten som AgCl_2^- (Sternbeck och Östlund, 1999).

Uppehållstiden för silver i atmosfären är 21 dagar (vilket är lägre än exempelvis guld och koppar) (Bowen, 1985). I havet är uppehållstiden 560 år (420 år för koppar och 36 000 år för guld) och i jord är den 800 år (7 000 år för koppar och 1 700 år för guld). Uppehållstiden i havssedimenten är omkring 10 miljoner år och 100 till 1000 miljoner år i litosfären.

Silver i produkter förekommer i nano-, jon-, kolloidal och elementär form (Thomas, 2009). Nanosilver används i exempelvis tyger och är då i storlekar mellan 1 och 100 nanometer (nm) i diameter. Silver i jonform är mindre än nanosilver och reagerar lätt med andra ämnen. Kolloidala partiklar är mellan 1 och 1000 nm i diameter vilket gör dem tillräckligt små för att förbli suspenderade i vätska under en lång tid. Nanosilver är det mest använda nanomaterialet på grund av dess antibakteriella effekt (Farkas et al., 2011) och det används även i inhemska produkter (Benn et al, 2010). Merparten av detta silver är i form av metalliska nanopartiklar och resten är i jonform (Panyala et al., 2008)

2.1.2 Toxicitet

Silverjonen är en av de giftigaste formerna av tungmetall (endast kvicksilver är giftigare) (Purcell och Peters, 1997) och har visat sig vara giftig för en mängd vattenlevande organismer, inklusive fisk (Bryan, 1971; Griffitt et al, 2009, Bilberg et al., 2010; Scown et al., 2010; Zimmerman et al., 2002; Wood et al., 2002), medan silver i fri form inte är lika giftig (Purcell och Peters, 1997). Den är dessutom mer toxisk i sötvatten jämfört med saltvatten. I Sverige finns inget gränsvärde för silver i dricksvatten och metallen nämns in heller i vattendirektivets lista över prioriterade ämnen.

Silver har länge använts som medicin eller kosttillskott och den vanligaste hälsoeffekten av en längre tids exponering är argyria (påverkar huden) och argyrosis (påverkar ögonen) (Drake och Hazelwood, 2005). Vid dessa sjukdomar ändras pigmenten i huden eller ögonen och får en grå eller blå nyans. Vid högre doser ackumuleras silver i huden, levern, njurarna, hornhinnorna, tandköttet, slemhinnor, naglar och mjälte. Gränsvärdet för silver i alla dess former är i många länder satt till 0,01–0,1 mg/m³ men studier visar att högre halter kan intas utan synbara hälsoeffekter.

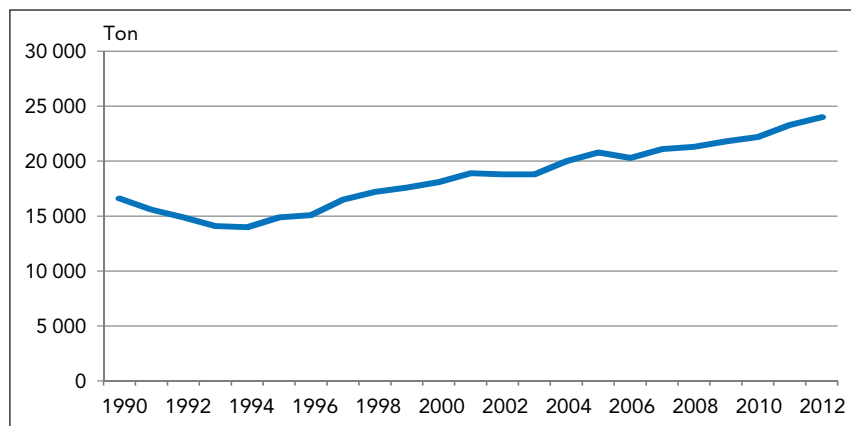
2.1.3 Användningsområden

Historisk användning

Forntida civilisationer använde silver till medicin, bestick, tallrikar, koppar, matbehållare, smycken, pengar/mynt, kläder, byggmaterial och desinfektionsmedel (Panyala et al., 2008). Det har också varit vanligt med silver inom röntgen och fotografering, vilket minskat sedan systemen blivit digitala (GFMS, 2013).

Produktion

Världsproduktionen av silver har ökat sedan mitten av 1800-talet med en snabbare ökning sedan 1900-talet (Naturvårdsverket, 1996). Den globala produktionen var under år 2012 24 000 ton, vilket kom från gruvor i 60 länder (Figur 2-1) (Butterman och Hilliard, 2004; Brooks, 2012; US Geological Survey, 2013a). Under 2010 användes 27 700 ton silver (Oleksiak och Blacha, 2012) varav 22 200 ton bröts och resten kom från återvinning av mestadels smycken, fotografiska reagenser samt elektroniskskrot (GFMS,

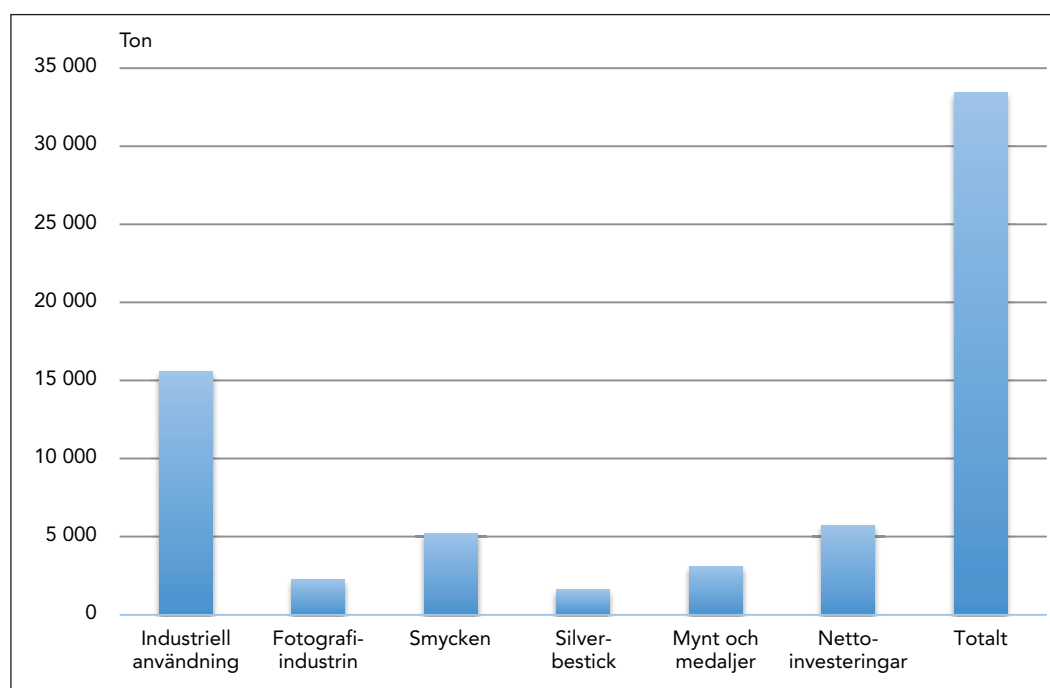


Figur 2-1 Global brytning av silver (ton/år), 1990-2012.
Källa U.S. Geological Survey, 2013a.

2011b). I Sverige har silver brutits sedan början av 1500-talet (Naturvårdsverket, 1996) och under 2010 bröts 300 ton i Sverige.

Nutidens användning

Efterfrågan av silver 2012 var störst för industriellt bruk men även smycken, fotografering och silverbestick var stora användningsområden (GFMS, 2013) (Figur 2-2). Majoriteten av den industriella användningen utgörs av elektriska produkter, elektronik samt lödningar. Användningen av silver i fotografering har minskat under det senaste årtiondet men det används fortfarande i vissa röntgen- och/eller fotografiutrustningar. Silver i röntgenutrustning har minskat i Sverige men används fortfarande i utvecklingsländer. På grund av dess antibakteriella effekter används även metallen i sårförband, bandage och dentala och medicinska produkter och läkemedel (Silverinstitutet, 2012, Purcell och Peters, 1997). Silverpartiklar förekommer idag i skärbrädor, bordsskivor, desinfektionsmedel och kylskåp för att motverka matförgiftning (Panyala et al., 2008). Metallen används även i olika tyger för att döda bakterier som orsakar dålig doft. Nanosilver kan även användas som biocid. Den årliga globala produktionen av nanosilver är omkring 500 ton per år, enligt Mueller och Nowack (2008).



Figur 2-2 Användningen av silver (ton) inom olika områden under år 2012, totalt 33 000 ton (GFMS, 2013).

Silver används som katalysator för att producera etylenoxid och formaldehyd vilka båda används i plastindustrin (Silverinstitutet, 2012). Metallen används även i olika delar av bilindustrin, från silverbelagda kontakter och den värmegenererade remsan i bakrutan till antifrostegenskaperna hos eten. Material som kan innehålla silver är exempelvis polyuretan, polyeten, silikon gummi och metakrylat polymerer och syftet med att använda silver är främst dess antibakteriella effekt (Hatzigrigoriou och Papaspyrides, 2011).

Andra populära användningsområden för silver är i speglar, batterier samt solceller och solpaneler (Purcell och Peters, 1997; Firman, 2008). Silver i mynt har fasats ut sedan slutat av 1800-talet, men används fortfarande i vissa mynt i exempelvis USA, Australien, Kanada, Mexico (GFMS, 2011b). Det finns ingen statistik för importerad, exporterad eller producerad mängd silvertackor, men omkring 2 ton kemiska föroreningar av silver importerades till Sverige under 2010 medan ingen har producerats eller exporteras (SCB, 2012).

2.1.4 Tillstånd i miljön och uppmätta halter

Jordskorpan

Silverhalten i jordskorpan ligger på 0,07–0,08 µg/g (Greenwood och Earnshaw, 2002) och den globala årliga vittringen beräknas till 0,11–0,7 ton (Sternbeck och Östlund, 1999). Studier visar att koncentrationen av silver i jord i olika länder kan variera från < 0,01–5 mg/kg (Bowen, 1982).

Vatten

Den genomsnittliga koncentrationen av silver i havet (västra Atlanten) har rapporterats som omkring 4,9 ng/l (Bowen, 1982). En studie av Ndunga (2011) visar att Östersjön och Stockholms skärgård kan innehålla mellan 0,1 ng/l till 1 ng/l (medelvärde 0,2 ng/l) silver. Nivåerna i Stockholms skärgård är förhöjda jämfört med nivåerna i öppna Östersjön. Silver har även uppmätts i olika vattendrag (Stora Essingen, Riddarfjärden och Årstaviken) nära Stockholm i Sverige med värden på 4 ng/l till 9 ng/l (IVL, 2011).

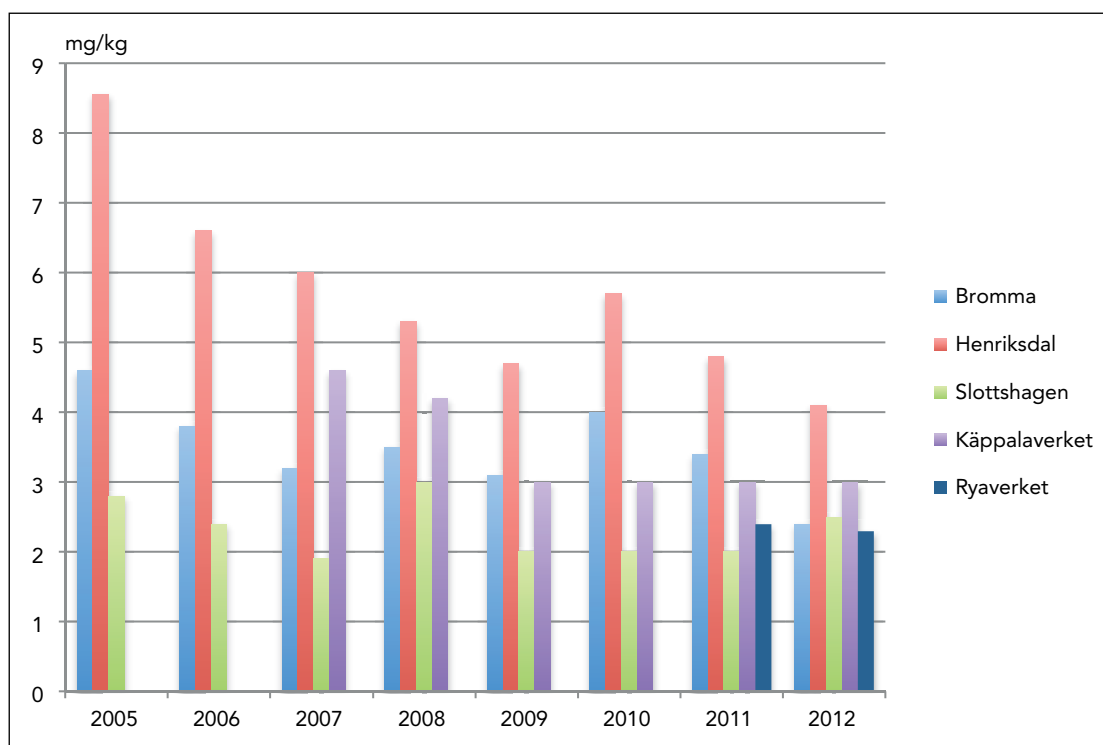
Sediment

I sediment i Sverige återfinns koncentrationer på mellan 5 och 22 mg/kg torrsvikt och i Stockholm koncentrationer på 0,1–27 mg/kg torrsvikt (Svensson et al., 2008). Koncentrationerna i sediment i Årstaviken, Mälaren (i Stockholmsområdet) ökade från 0,19 mg/kg torrsvikt (1940) via 2,45 mg/kg torrsvikt (1970) till 3,4–3,7 mg/kg torrsvikt år 1995.

Uppmätta halter i avloppsslam

Silvernivåer på mellan 2 och 30 mg/kg torrsvikt har uppmätts i avloppsslam i Sverige (Sternbeck och Östlund, 1999; IVL, 2011). I Stockholm samt andra reningsverk i Sverige har silverhalterna minskat de senaste åren men sedan 2010 börjat plana ut (Figur 2-3).

För 2012 var den totala uppmätta mängden silver 61 kg i slammet hos Henriksdals reningsverk i Stockholm. Silverhalten i renat utgående vatten ligger under detektionsgränsen 0,5 µg/l. Erfarenheter från Stockholm Vatten indikerar att silver i utgående vatten hos Henriksdal och Bromma reningsverk ligger långt under detektionsgränsen och minst 95 % hamnar i slammet.



Figur 2-3 Uppmätta halter silver i slam (mg/kg TS) hos olika reningsverk i Bromma, Henriksdal, Slottshagen, Käppalaverket och Ryaverket 2005–2012 (Stockholm Vatten, 2005a – 2013; Christina Rydh, 2013; Käppalaförbundet, 2008–2012, Vienola, 2012–2013; Jan Mattsson, 2013).

2.2 Vismut

2.2.1 Egenskaper och förekomst

Vismut är en silvervit metall som i naturen förekommer i ren form men också som vismutglans (Bi_2S_3) och vismit (Bi_2O_3) m.fl. (Enghag, 2000). Den har lägst värmeledningsförmåga (efter kvicksilver) av alla metaller samt mycket hög elektrisk resistens.

2.2.2 Toxicitet

Det saknas omfattande studier om den direkta toxiska effekten av vismut (Sano et al., 2005) och inga studier nämner heller om det finns en potentiell akvatisk toxicitet. De flesta vismutföreningarna är inte tillräckligt vattenlösliga för att visa toxiska nivåer i vatten (National Research council of the national academies, 2005). Vismut har även visat sig inte bioackumuleras i växter samt i vävnader hos djur.

För människor är läkemedel innehållande vismutföreningar toxiska om de konsumeras i höga nivåer. Vismut ackumuleras mest i njuren och därefter i levern, mjälten, ben, lungor, hjärta och minst i musklerna. Effekter till följd av vismutbaserade läkemedel inkluderar njurskador, hjärnskador, skador på ledbrosk, skador och sår i munslemhinnan samt hyperpigmentering (Bradley, 1989; Slikker-veer och De Wolff, 1989 i Randahl et al., 1997). Det finns en äldre studie som tyder på att ett intag av vismut kan medverka till att frisätta bly eller blockera dess utsöndring vilket skulle öka koncentrationen av bly i cirkulationen (Epstein, 1940 i Randahl, 1997).

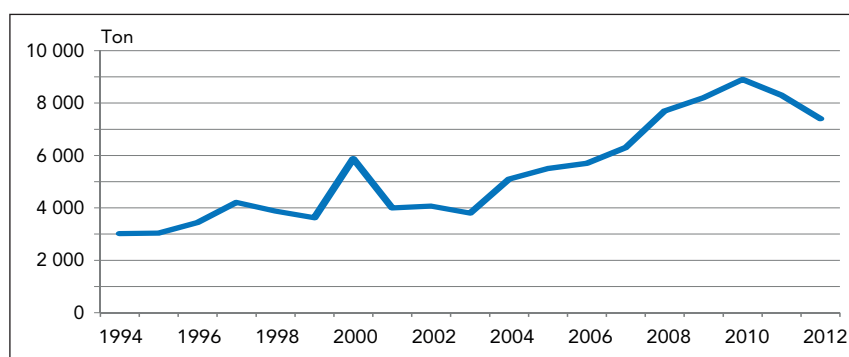
2.2.3 Användningsområden

Historisk användning

Historiskt sett har vismut haft liknande användningsområden som bly och fram till 1500-talet ansågs bly, tenn och vismut vara olika former av samma metall. Det var först 1753 som det upptäcktes att vismut var ett eget grundämne (Enghag, 2000). Vismut har även innan antibiotikan upptäcktes använts för medicinskt bruk för behandling av syfilis, störningar i mag-tarmkanalens funktion samt i vissa hudkrämer (Randahl et al., 1997).

Produktion

Vismut erhålls vanligtvis som en biprodukt av bly, volfram eller andra metaller och endast två gruvor i världen har som syfte att bryta vismutmalm (U.S. Geological Survey, 2013b). Den erhålls även som en biprodukt vid utvinning av tenn, bly, silver och guld. Vismut bryts inte i Sverige. Produktionen av vismut har ökat sedan den började registreras år 1994 (Figur 2-4).



Figur 2-4 Global brytning av vismut (ton/år) 1994-2012 (U.S. Geological Survey, 2013b).

Nutidens användning

Under 2010 gick större delen av produktionen till kemikalieindustrin (65 %) och metallurgiska tillsatser (27 %) medan en liten del (8 %) gick till vismutlegeringar, lödningar samt ammunition. Kemikalieindustrin inkluderar industriell användning samt användning inom laboratorier. Den inkluderar även kosmetika och läkemedel. Vismut används idag även till högttemperatursuprledande magneter. Woods metall och Roses metall är legeringar som innehåller vismut (Enghag, 2000). Metallen har även god kontrastverkan vid röntgenundersökningar och har därför byggts in i plaster som implanteras av läkare och tandläkare. Implantatet kan sedan lokaliseras lätt tack vare vismuten.

2.2.4 Tillstånd i miljön och uppmätta halter

Jordskorpan

I jordskorpan kan vismut förekomma med en medelhalt på 0,05 mg Bi/kg (Enghag, 2000) eller 0,2 mg Bi/kg (Naturvårdsverket, 1997). I Kanada har halter upp mot 1,5 mg Bi/kg hittats i ytmarkskiktet och halter upp mot 10 mg Bi/kg har även påvisats i järnrika jordar (Randahl et al., 1997). I marken förekommer vismut som jon och troligen oftast i form av BiO^+ .

Vatten

I havet förekommer vismut med en medelhalt på 0,01–0,05 ng/l (Enghag, 2000) eller mellan 0,02–0,04 µg Bi/l beroende på djup (Randahl et al., 1997). Vismut förekommer i havsvatten som BiO^+ och $\text{Bi}(\text{OH})_2$ (Ferguson, 1990). I regnvatten och sötvatten är koncentrationen normalt lägre än 20 ng Bi/l (Randahl et al., 1997) och en undersökning som Naturvårdsverket (1999) gjort av svenska sjöar visar att vismut inte var detektionsbart i merparten av proven, vilket innebär en halt på under 5 ng/l.

Sediment

Halter på mellan 0,11 och 3,4 µg/g TS har uppmäts i Sverige (IVL, 2007).

Uppmätta halter i avloppsslam

Reningsverk i Sverige visar en ökning av vismut i slam. I Figur 2-5 återfinns uppmätta halter av vismut hos några reningsverk i Sverige under de senaste åren.



Figur 2-5 Uppmätta halter vismut (mg/kg TS) i slam från reningsverk i Bromma, Henriksdal, Slottshagen, Käppalaverket och Ryaverket 2004–2012 (Stockholm Vatten, 2005a – 2013; Christina Rydh, 2013; Käppalaförbundet, 2008–2012; Jan Mattsson, 2013).

Med ledning av halterna vismut i inkommande vatten och slam kan man anta att halterna i utgående vatten från Henriksdals reningsverk ligger långt under detektionsgränsen 0,1 µg/l. Det finns indikation på att vismut i utgående vatten hos detta reningsverk ligger långt under detektionsgränsen och minst 95 % hamnar i slammet. För år 2012 var den uppmätta mängden vismut 116 kg i slammet hos Henriksdals reningsverk i Stockholm (Stockholm Vatten, 2013a).

2.3 REVAQ

REVAQ är ett nationellt kvalitetssäkringssystem för reningsverk som startade som ett utvecklingsprojekt år 2002. Svenskt Vatten står som ensam ägare till certifieringssystemet som arbetar för att ”minska flödet av farliga ämnen till reningsverk, att skapa en hållbar återföring av växtnäring samt att hantera riskerna på vägen dit” (REVAQ, 2013). Syftet med REVAQ är att ”kvalitetssäkra reningsverkens arbete med uppströmsarbete och återföring av näringsämnen i slammet till jordbruk” (Svenskt Vatten, 2013). Som certifieringsvillkor har REVAQ (REVAQ, 2013) följande:

- ”På lång sikt – balans på åkermarken, ingen oacceptabel ackumulering av metaller och oönskade organiska ämnen” samt
- ”Icke-essentiella ämnen skall år 2025 inte få ackumuleras mer än 0,2 % per år”

Under 2012 fanns 38 REVAQ-certifierade reningsverk i Sverige (REVAQ, 2013). De är inriktade på en ständig förbättring vad gäller framförallt kadmium, icke essentiella spårämnen och oönskade organiska ämnen. Målsättningen med arbetet med kadmium är att nå hållbarhet och balans på åkermark. Sju grundämnen har redan lagstadgats i Sverige när det gäller slam och jordbruksmark. Dessa är kadmium, bly, kvicksilver, krom, koppar, zink och nickel. I Sverige genomförs nu en avancerad granskning av 60 olika grundämnen enligt REVAQ. Syftet med granskningen är att hindra att ämnen som inte är essentiella för grödor får en ackumuleringshastighet på över 0,2 % till år 2025. Ackumuleringshastighet eller fördubblingstid anger hur lång tid det tar för koncentrationen av metallen i mark att fördubblas, vilket innebär att den bör vara så låg som möjligt (Ericsson, 2001).

2.4 Lagstiftning

Silver betraktas som en biocid (Kemikalieinspektionen, 2011) och är ett ämne som enligt bilaga II till förordning EG nr 1451/2007 ska utvärderas. EU förordningen nr 528/2012 behandlar användning av biocidprodukter i varor. Inget beslut har dock ännu fattats om silver ska vara tillåtet som biocid i varor utan detta ska göras till år 2016 (Kemikalieinspektionen, 2013). Klädesplagg är ett exempel på föremål med biocidfunktion som gäller under den nya lagen som till 2016 tydligt måste visa vilka verksamma ämnen de innehåller eller behandlats med.

Enligt EG 1223/2009 får silverniträt användas i färg för ögonfransar om det tydligt står på förpackningen. Silver får användas i kosmetika men det står då även ”Renhetskriterier i enlighet med kommissionens direktiv 95/45/EG (E174), vilket innebär att silvret måste vara lika rent som vid användning inom livsmedel (innehåll på minst 99,5 % Ag). Vismut nämns ej i lagstiftningen.

Kemikalielagstiftningen REACH säger att konsumenter har rätt att få information om en vara innehåller ett ämne på kandidatlistan i en koncentration på över 0,1 viktprocent (EG 1907/2006). Varken silver eller vismut nämns på kandidatlistan.

3 Metod – substansflödesanalys (SFA)

Substansflödesanalys (SFA) kan ses som en slags materialflödesanalys (MFA) men som enbart analyserar flödet för en specifik substans (Udo de Haes et al., 1997). En materialflödesanalys består vanligtvis av följande steg: (a) definiera systemet, (b) kvantifiera stocken och flöden, samt (c) tolka resultaten (Van der Voet et al., 1995). Inkluderat i dessa steg är en mängd olika val och specifikationer som alla beror på målet med studien. För beskrivningen av metoden har Van der Voet (2002) använts, om inget annat nämns.

Definition av systemet

Systemet måste avgränsas baserat på område, funktion, tidsram samt material/substans. Det innebär att processer, stock och flöden måste specificeras genom att beslut fattas om rumslig avgränsning, funktionell avgränsning, tidshorisont och material/substans som ska studeras. Resultatet blir ett flödesschema eller ett nätverk.

Område och funktion – SFA studier begränsas vanligtvis till en region där alla flöden av det valda materialet inom en viss geografisk gräns analyseras. Alla områden, från lokal till global skala är dock möjlig där ett land eller en grupp av länder har fördelar såsom datatillgänglighet och koppling till landets miljöpolicy.

Tid – I de flesta SFA studier används tidsperioden ett år, men i vissa fall kan även en kortare eller längre tidsperiod användas. Variationer under året är relevanta vid analys av miljöflöden och då är en kortare tidsperiod mer passande, medan en längre tidsperiod kan vara mer lämplig när långsamma upplagringsprocesser studeras.

Material/substans – Metaller och näringsämnen är bland de mest analyserade ämnena. Ibland studeras endast ett ämne under en tid medan vid andra tillfällen kan en förening av material eller en sammanhållen grupp av ämnen analyseras. Detta väljs utifrån syftet med studien där materiella studier kan ge relevant information om materialintensiteten i ett samhälle medan en substansstudie kan vara av betydelse för att fastställa bidrag till ett samhälle från ett specifikt föroreningsproblem.

Kvantifiering av stocken och flöden

I detta steg identifieras relevanta uppgifter för att sedan samlas in eller modelleras. Tre sätt att modellera systemet är genom (a) redovisning eller bokföring, (b) statisk modellering eller (c) dynamisk modellering.

Redovisning och bokföring – Vid ett redovisningssystem utgörs systemet av uppgifter om storleken på systemets flöden samt upplagring av varor och material, vilket kan erhållas från handels- och produktionsstatistik samt lokal och global övervakning av utsläpp, miljöflöden och uppmätta koncentrationer. Genom att kombinera dessa med tillämpning av massbalansprincipen ges en överblick över flöden och stock, vilket också kan leda till att identifiera saknade eller felaktiga uppgifter. In- och utflöde bör sedan balanseras för systemet så länge ackumulering i systemet inte kan bevisas.

Statisk modellering – Denna modell innebär att processerna översätts till en rad linjära ekvationer som beskriver flöden och ackumuleringar som beroende av varandra. Emissionsfaktorer och fördelningsfaktorer kan användas som variabler och dessutom krävs en begränsad mängd redovisningsdata samt en lösning av uppsatta ekvationer.

Dynamisk modellering – Ytterligare information krävs för en dynamisk modellering, såsom halveringstiden hos föreningarna och retentionstiden i miljön. Denna tidsberoende del är en av den största skillnaden mellan statisk och dynamisk modellering.

Tolka resultatet

Resultatet från en SFA studie presenteras vanligtvis som en översikt av flöden och/eller upplagrade mängder i en viss region. När en sådan överblick är för komplicerad för att lokalisera relevant information behövs ytterligare tolkning. Genom att definiera en uppsättning indikatorer kan resultaten bli lättare att förstå. Indikatorer spelar en viktig roll i tolkningen av miljödata för beslutsfattare och det är möjligt att definiera specialiserade eller lokala indikatorer som en del av en SFA studie. Detta görs genom att översiktligt välja ut ett specifikt flöde eller stock som är relevant att följa.

3.1 Applicering av SFA i denna studie

För denna studie användes redovisning och bokföring där indata bestod av insamlade uppgifter om storleken på systemets flöden och upplagring av varor och material. Systemgränsen var befolkningen ansluten till Henriksdals reningsverk 2012 (767 650 personer), vilket i texten hänvisas till som Stockholm (baserat på att Stockholm har en liknande befolkningsstorlek). Henriksdals upptagningsområde inkluderar delar av Stockholm, Nacka, Tyresö, Haninge samt Huddinge. Ämnena som studerats var silver och vismut och året var 2012. Vid beräkning av inflöde, stock och utflöde har först och främst statistik från SCB (Statistiska Centralbyrån – se bilaga 9.4) använts, men även andra källor. Livslängd har uppskattats för de olika produkterna vid beräkning av stock. Den statistik som har används har oftast justerats från nationell nivå till befolkningen ansluten till Henriksdals reningsverk. I vissa fall har data skalats ner från global nivå. Om inget annat nämns har användningen i Stockholm antagits vara lika som den genomsnittliga användningen i världen.

Fokus har varit på inflöde, stock och utflöde av silver och vismut. Återvinning har lämnats utanför systemet och likaså har utsläpp direkt till luft, mark, vatten och sediment. Majoriteten av utflödet går till avfall eller återvinning men eftersom denna studie fokuserar på utsläpp och då främst diffusa utsläpp till Henriksdals reningsverk, har även flödet till avfall exkluderats. Med inflöde menas i denna studie det flöde av silver och vismut som går in till ett samhälle, i detta fall Stockholm. Stocken visar hur mycket av metallerna som finns upplagrat i samhället och utflödet är det flöde som går från samhället till exempelvis avfall, återvinning och reningsverk. Utflödet ur samhället betraktas vara detsamma som inflödet till reningsverket, men då fokus ligger på samhället i denna studie kallas detta flöde för utflöde.

3.2 Osäkerheter

I denna studie har osäkerheter bedömts utifrån tre olika nivåer: låg, medel och hög. Denna osäkerhetsskattning innebär att en kvalitativ bedömning görs, enligt Lifset et al. (2012). En hög osäkerhet innebär bland annat att det inte funnits tillräckligt med data eller att global data har använts och räknats om till Stockholmsnivå. Exempel på detta är flödet av silver och vismut i färg och plast. Resultat med stora variationer vid olika beräkningar ger också en hög osäkerhet. Vid en låg osäkerhet, exempelvis silvermängder i kosmetika har istället antingen egna undersökningar gjorts eller så har det funnits gott om data, främst på Sverige eller Stockholmsnivå, att grunda beräkningarna på.

4 Silver resultat och diskussion

4.1 Källor till reningsverk

I denna substansflödesanalys har fokus legat på varor och sådan användning som kan ge en påverkan på silverhalter i avloppsvatten och uppmätta mängder silver i slam i Henriksdals reningsverk. Beräknade silvermängder (kg/år) från olika varor eller andra källor till Henriksdals reningsverk redovisas i Tabell 4-1. I tabellen framgår även hur stor andel av den totala mängden silver detta utgör, vilka mängder detta motsvarar per person, samt en grov bedömning av beräkningarnas osäkerhet (se diskussion nedan). Därefter uppskattas och diskuteras Ag i flöden och stock (lager) för Stockholm. För varor som inte ger ett utflöde till reningsverk har inte heller inflöde eller stock granskats. Beräkningarna samt utförligare beskrivning för inflöde, stock och utflöde av silver visas i Bilaga 1.

Tabell 4-1 Beräknade silvermängder från olika varor/källor till Henriksdals reningsverk per år (2012).

Vara/källa	Medelvärde ¹ (kg Ag/år)	Andel (%)	Per person ² (mg Ag/år)	Osäkerhet ³
Hushåll				
Textilier	12	19	15	Medel
Urin och fekalier	9,2	15	12	Låg
varav amalgam	3,7	6	4,9	Medel
varav föda och övrigt ⁴	5,5	8,9	7,2	Medel
Städprodukter	4,1	6,6	5,3	Hög
Fotografi	< 0,1	0,1	0,1	Hög
Färg	0,5	0,8	0,7	Hög
Smycken och silverbestick	0,3	0,5	0,4	Medel
Plast	0,3	0,5	0,4	Hög
Kosmetika ⁵	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Låg
Amalgam (tandborstning)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Medel
Hygienprodukter ⁶	-	-	-	-
Verksamheter				
Fordon (tvätt)	1,6	2,6	2,1	Medel
Sjukvård ⁷	3,5	5,6	4,6	Hög
Tandläkare	0,4	0,7	0,6	Låg
Fotolabb	0,2	0,2	0,3	Hög
Tvätterier	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Låg
Övrigt				
Dagvatten	0,5	0,8	0,7	Hög
Dricksvatten	0,3	0,5	0,4	Hög
Läck- och dränvatten	0,3	0,5	0,4	-
Fällningskemikalier	2	3,2	2,6	Hög
Rörsediment	-	-	-	-
Totalt	35	56	46	
Totalt uppmätt mängd	61⁸			

¹ För beräkning av medelvärde – se Bilaga 1

² 767 650 personer var anslutna till Henriksdals reningsverk år 2012

³ Osäkerhet utifrån kapitel 3.2

⁴ Beräknad utifrån återstoden av urin och fekalier när mängden för amalgam räknats bort.

⁵ Övrigt inkluderar hygienprodukter inkluderar kosmetika och hudvårdsprodukter som absorberas av kroppen.

⁶ Inkluderar foundation, puder samt ögonskuggor.

⁷ Hygienprodukter inkluderar exempelvis tvål och hudlotion

⁸ Inkluderar röntgen

⁸ Mängd i slam, mängd i utgående vatten antas försumbar, se tidigare text

- Potentiell källa, men underlag för beräkning saknas

Silver i textilier har under de senaste åren varit ett omdiskuterat ämne och studier visar att majoriteten av silver i textilier tvättas ut inom 10 tvättar. Detta bedöms vara en av de största källorna till silver i avloppsvatten och då flera studier visar att silver läcker från textilier vid tvätt, med olika uppskattningar om hur stor del silver som läcker, bedöms osäkerheten på denna källa vara medel (Kemikalieinspektionen, 2011; Benn och Westerhoff, 2008; Karlsson, 2012). Även urin och fekalier är en stor källa till Ag, främst via mat, hygienprodukter samt amalgam i våra tänder. De något mindre källorna inkluderar kosmetika och städprodukter. Kosmetika bedöms ha en låg osäkerhet då de är beräknade med hjälp av egna analyser. För städprodukter har global data använts, varför den har en hög osäkerhet. Bilar släpper vid tvätt ifrån sig silver vilket ger en bidragande mängd silver till avloppet. Denna mängd betraktas dock som något osäker då det är svårbedömt hur många bilar som tvättas inom områden anslutna till Henriksdals avloppsnät. Uppskattningsvis 2 kg silver kan dessutom komma från fällningskemikalierna som används vid reningsverken.

De mindre flödena (färg, smycken och silverbestick, plast, fotografi, kosmetika, amalgam (tandborstning), tandläkare, tvätterier, dagvatten, dricksvatten och läck- och dränvatten) står tillsammans för 3,1 kg silver per år. Var för sig är dessa flöden små men tillsammans kan de ge en påverkan. På grund av brist på data är osäkerheten för de flesta av dessa flödena hög. För rörsediment kunde ingen mängd uppskattas, men en okänd mängd silver finns upplagrad i rörsediment i Stockholms avloppssystem. Bly och kvicksilver frigörs ofta i samband med rensningar i ledningsnätet och det kan ibland vara stora mängder (Wahlberg och Lagerkvist, 2013). Enligt egna erfarenheter från Stockholm Vatten är påverkan från silver alltid mindre eller ingen alls. Påverkan från ledningsrensningar kan skilja betydligt mellan olika år. Under 2012 var bidraget av silver i samband med rensningar minimalt.

Inflöde av silver i olika varor per år till Stockholm samt upplagrad mängd silver i olika varor har beräknats. I Tabell 4-2 presenteras min- och maxvärden för silvermängder i inflöde (kg/år) till och i stock (kg) inom Stockholm för år 2012. Även för utflöde har min- och maxvärden beräknats men här är endast flöden till reningsverk redovisade.

Beräkningar har ibland utförts på olika sätt vilket resulterat i ett min- respektive maxvärde. För andra anges endast ett maxvärde. Detta är för produkter där endast ett värde kunnat beräknas och de har då bedömts som ett maximalt värde, eller i vissa fall ett värsta fall scenario. Detta värde har då även använts som beräknad silvermängd från de olika källorna (Tabell 4-1). För flera produkter har inte något inflöde eller stock beräknats på grund av att dessa flöden/stock inte är relevanta eller att data saknas. För fordon och fordonstvättar saknades exempelvis data på silverinnehåll per bil varför inflöde och stock inte kunde beräknas.

Den procentuella andelen av olika varor/källor för silver i utflöde till Henriksdal, upplagrat i Stockholms teknosfär (stock) och inflöde till Stockholm finns redovisat i Figur 4-1–4-3.

I denna studie bedöms 19 % av inkommande silver till Henriksdals reningsverk komma från tvätt av kläder. Enligt Wittgren och Pettersson (2013) kan det bidra med 4 % Ag till Slottshagens reningsverk i Norrköping.

Tabell 4-2 Sammanställd substansflödesanalys för Stockholms teknosfär. Mängder Ag i olika flöden samt stock (upplagrad mängd). Utflödet är begränsat till flöden till Henriksdals reningsverk.

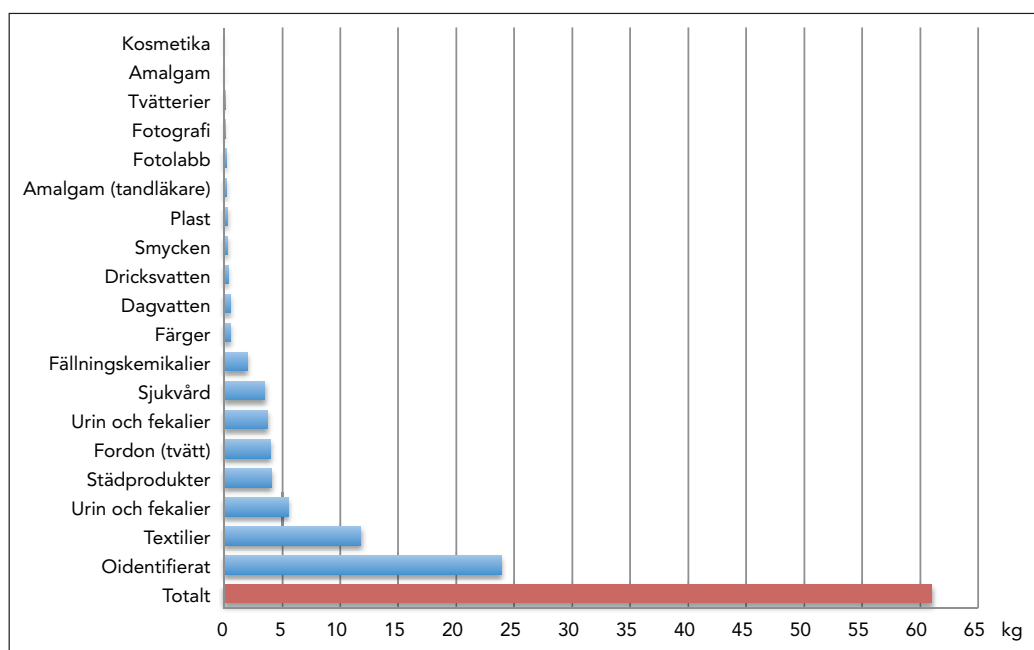
Vara/källa	Inflöde min (kg/år)	Inflöde max (kg/år)	Stock min (kg)	Stock max (kg)	Utflöde min (kg/år)	Utflöde max (kg/år)
Hushåll						
Textilier	2,2	22	-	-	2,2	22
Urin och fekalier	er	er	er	er	-	9,2
varav amalgam	er	er	er	er	1,5	6,0
varav föda och hygienprodukter	er	er	er	er	3,2	7,4
Städprodukter	-	16	-	-	-	4,1
Fotografi	-	55 ¹	-	27	0,08	0,1
Färg	0,3	1,5	97	190	-	0,5
Smycken och silverbestick	-	1 400	14 000	71 000	-	0,3
Plast	-	11	25	50	-	0,3
Kosmetika	0,04	27	-	2,7	< 0,1	< 0,1
Amalgam	er	er	-	1 700	-	< 0,1
Hygienprodukter	-	-	-	-	-	-
Verksamheter						
Fordon (tvätt)	-	-	-	-	-	1,6
Sjukvård	-	3,5	-	-	-	3,5
Tandläkare	0	0	-	-	0,2	0,4
Fotolabb	-	-	-	-	-	0,2
Tvätterier	-	-	-	-	-	< 0,1
Övrigt						
Dagvatten	-	-	-	-	-	0,5
Dricksvatten	er	er	er	er	-	0,3
Läck- och dränvatten	-	-	-	-	-	0,3
Fällningskemikalier	er	er	er	er	-	2,0
Rörsediment	-	-	-	-	-	-
Totalt	2,5	1 500	14 000	73 000	2,5	45
Totalt uppmätt mängd						61²

¹ Värsta fall scenario

² Mängd i slam, mängd i utgående vatten antas försumbar, se tidigare text

- Underlag för beräkning saknas

er ej relevant



Figur 4-1 Olika källors andel av total uppmätt mängd silver i Henriksdals reningsverk 2012. Total uppmätt mängd 61 kg. Total identifierad mängd 45 kg.

Flödet från kläder bedöms dock vara osäkert på grund av stor variation i uppskattat silverläckage. Flera undersökningar har visat en problematik vid undersökningar av läckage från klädesplagg och textilier beroende på bland annat vilken vätska som används vid tvätt (Wittgren och Pettersson, 2013; Kemikalieinspektionen, 2011; Benn och Westerhoff, 2008). Det finns även en risk att klädesplaggen släpper ifrån sig silver under andra tidpunkter och inte enbart vid tvätt (exempelvis regn, svett), vilket försvårar kartläggningen. Skillnaden mellan Wittgren och Petterssons studie (2013) och denna beror bland annat på olika slags antagande, där det i denna studie bland annat antagits att endast träningskläder och strumpor innehåller silver samt att varje person i genomsnitt årligen köper 0,4 kg silverbehandlade kläder med en koncentration på 20 mg/kg (både medelvärde och medianvärde) (Bilaga 1). Wittgren och Pettersson (2013) antar istället att varje person i genomsnitt äger 0,2 kg silverbehandlade kläder med en koncentration på mellan 9 mg/kg (medianvärde) per år. Detta ger ett lägre uppskattat värde än vad som visas i denna studie.

Urin och fekalier bidrar med omkring 9 kg silver till Henriksdals reningsverk. Detta bedöms främst komma från amalgam som fortfarande finns i tänderna hos en stor del av Stockholms befolkning. En del kan även komma från hygienprodukter och mat. Det är dock oklart hur dessa olika källor bidrar till de 9 kilona, men uppskattningsvis mellan 1,5 kg och 6 kg bedöms komma från amalgamet. Silverinnehållande produkter som vi använder på vår hud eller får i oss via exempelvis mat kan ses som en bidragande faktor till uppmätta silvermängder i Henriksdals reningsverk men mer studier behövs för att undersöka detta samt hur stor del av silver som vår hud tar upp vid användning av sådana produkter. Hygienprodukter inkluderar exempelvis tvål och hudlotion och en minimal del av detta antas tas upp och kroppen och då påverka halterna i urin och fekalier. Förutom den del som går till urin och fekalier släpps även en del av okänd storlek ut direkt vid exempelvis dusch.

Enligt Kemisk Tekniska Leverantörsförbundet, vilket är en branschorganisation som stödjer kosmetikaindustrin, ska silver inte förekomma i kosmetika i Sverige (Diener och Palme, 2012). Egna undersökningar visar att metallen förekommer i kosmetika, dock i små mängder såsom upp till 2 mg/kg i undersökt foundation, 5,4 mg/kg i undersökta puderprodukter och 6,3 mg/kg i undersökta ögonskuggor (Bilaga 9.3). I denna studie uppskattas kosmetika bidra med mindre än 0,1 kg av uppmätt silver hos Henriksdals reningsverk, vilket motsvarar mindre än 0,1 % av den totala inkomna mängden. Karlsson (2012) analyserade en ögonskugga med silver på sin innehållsförteckning, vilket visar att silver förekommer i högre koncentrationer i kosmetika även om det i denna studie endast hittats låga koncentrationer. Karlsson (2012) samt Wittgren och Pettersson (2013) skriver att kosmetika (främst ögonskugga) kan bidra med 2 % Ag till reningsverken i Sverige, vilket skulle motsvara 1,2 kg till Henriksdals reningsverk. Detta stödjer vad som presenterats i denna studie, att kosmetika kan bidra med små mängder silver till reningsverk i Sverige. Silver i kosmetika kan hamna i avloppsvattnet via olika vägar, exempelvis när det tvättas bort med vatten eller tas upp av kroppen och transporteras via urin och fekalier till avloppet.

Fordonstvättar har i denna studie uppskattats till att bidra med 2,6 % Ag (Tabell 4-1) till Henriksdals reningsverk. Enligt Wittgren och Pettersson (2013) bidrar fordonstvättar med 2 % Ag. Detta är baserat på en beräkning utifrån utsläpp per fordon från olika slags fordonstvättar. I denna studie har fordonstvättar som inte enbart utförts på en tvättanläggning inkluderats (Bilaga 4). Detta förklarar varför uppskattningen av silverbidraget från fordonstvättar är högre i denna studie. Tvärtom gäller för smycken, vilket i denna studie ihop med silverbestick uppskattas till 0,5 % (Tabell 4-1) och enligt Wittgren och Pettersson (2013) kan bidra med 2 %. Detta innebär att de i sin studie kan ha underskattat bidraget från fordonstvättar och överskattat bidraget från smycken. Det kan dock konstateras att fordonstvättar, smycken och silverbestick ihop står för en minimal del av bidraget av silver till Henriksdals reningsverk.

Städprodukter (4,1 kg), sjukvård (3,5 kg) och fällningskemikalier (2 kg) är andra noterbara källor som bidrar med låga men anmärkningsvärda mängder silver till Henriksdals reningsverk. För städprodukter är det oklart i vilka slags produkter samt var i produkterna metallen förekommer och det är därför problematiskt att uppskatta hur stor del som kan tänkas nå reningsverken. För sjukvård används silver i olika produkter, men majoriteten går till avfall. Med sjukvård menas i denna studie främst användningen av silver hos små sjukhus och kliniker, då de större sjukhusen inte har några högre koncentrationer silver i sitt utgående vatten. Silver har exempelvis använts inom röntgen, men antas inte längre användas till detta hos större sjukhus medan mindre kliniker möjligen fortfarande kan använda sådan röntgen. Silver används inom fotografering vid kemisk framställning. Denna mängd har minskat sedan framställningen digitaliserats, men en okänd mängd hobbyfotografer använder fortfarande silver vid framkallning. I denna studie bidrar hobbyfotografer i Stockholm årligen med mindre än 0,1 kg silver till Henriksdals reningsverk. Silverhalten i dricksvatten och fällningskemikalierna som används av reningsverket är svåra att uppskatta då den ligger under detektionsgränsen.

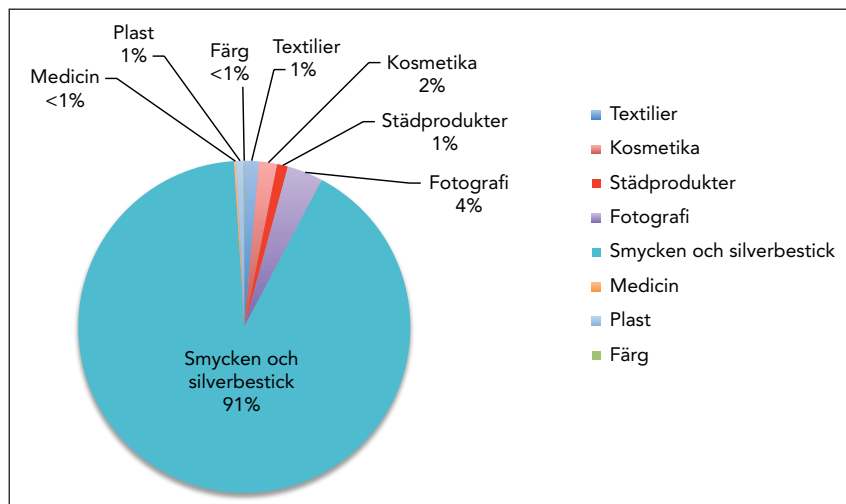
Blaser et al. (2008) uppskattar att mellan 0,3 % och 15 % av det totala silvret som släpptes ut till vattendrag under 2010 i Europa kom från plast och textilier. Detta är baserat på olika scenarier i artikeln. Det innebär att plaster släpper ifrån sig silver, men det saknas information om i vilka mängder silver används i plaster samt i vilka slags plaster. Beckman (2013) har uppskattat att omkring 0,3 kg silver årligen kan lakas ut från plastprodukter till avloppet.

43 % av inkommande silver till Henriksdals reningsverk är fortfarande oidentifierat efter denna studie (Figur 4-1). Silverflöden som ej kunnat undersökas i denna studie men som ändå kan vara ett bidrag till uppmätta silvermängder är silver i sediment och avlagringar i ledningsnät och tunnlar. Detta silver kan komma från exempelvis den tidigare flitiga användningen av amalgam i Sverige eller från verksamheter som tidigare använts silver, såsom fotoindustrin. Även läck- och dränvatten är en potentiell källa.

4.2 Inflöde till Stockholms teknosfär

Utfödet av silver till reningsverk är beroende av inflödet till Stockholms teknosfär och hur stor mängd silver som lagras upp i olika användningsområden (stocken). För inflödet till Stockholm har det maximala värdet använts (Tabell 4-2).

Det största inflödet är silver i smycken och silverbestick (Figur 4-2), vilket också har den största stocken (Figur 4-3). Majoriteten av detta går dock till avfall eller återvinning, varför utfödet till Henriksdals reningsverk från smycken och silverbestick är minimal.



Figur 4-2 Olika källors andel av silverinflöde till Stockholms teknosfär (kg/år). Total mängd 1 600 kg (år 2012).

För fotografi är siffran för inflöde osäker, då det saknas uppgifter om hur stor del av använd silvernitratt som i Sverige används för just framställning av fotografier. Den använda siffran i denna studie (55 kg) kan därför anses vara ett värsta fall scenario.

På grund av avsaknaden av data när det gäller svenskarnas kosmetikaanvändning är inflöde och stock för kosmetika problematisk att bedöma.

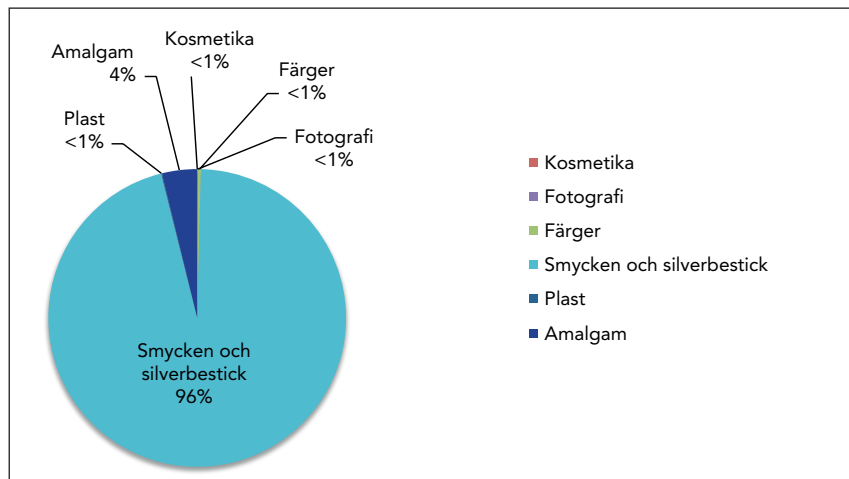
Inflödet av silver i textilier uppskattas i denna studie ligga mellan 2 och 22 kg (med ett medelvärde på 12 kg). Enligt Diener och Palme (2012) uppskattar ett känt företag som erbjuder antidörfunktion (med hjälp av silver) att omkring 10–15 kg silver används på företagsnivå i kläder per år i Sverige, vilket skulle ge omkring 1 kg till Stockholm.

För städprodukter och användningen av silver inom sjukvård har inflödet varit svårt att beräkna. Data saknas över användning och inom vilka slags produkter metallen förekommer.

För inflödet av silver i färg (0,9 kg) och plast (11 kg) saknas data över användningen i Sverige. Beckman (2013) har använt utländsk och global data, vilket indikerar att silver används i färg och plast. Inga mängder eller hur vanligt förekommande det är i dessa produkter kunde dock uppskattas.

4.3 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)

I Figur 4-3 visas fördelningen av silver i olika källor i Stockholm. Medelvärdet av det minimala och maximala värdet för stocken har använts (Tabell 4-2).



Figur 4-3 Olika källors andel av upplagrad mängd silver i Stockholms teknosfär 2012. Total mängd 45 ton.

Amalgam förbjöds i Sverige 2009 men användningen började minskas redan innan dess. En stor mängd finns dock fortfarande kvar i svenskars tänder, även om de tas bort efterhand. Omkring 1,7 ton kan fortfarande finnas upplagrat i Stockholm, vilket årligen minskar med uppskattningsvis 2,3 % (Bilaga 1).

För upplagrad mängd kosmetika har flera antaganden gjorts vilket påverkar storleken på den upplagrade mängden. Beroende på användningsmängd och hur ofta produkterna används skulle stocken kunna vara mindre (till och med 0) eller större än vad som nämnts (2,7 kg). Silvernitratt som används för att framkalla fotografier har en hållbarhetstid på 18 månader, vilket använts för att bedöma en upplagrad mängd på 27 kg. Silvernitratt med utgången datum antas lämnas in på återvinningsstationer och används därför inte för fotografiframkallning. För färg och plast förekommer samma problematik vid uppskattning av stock som för uppskattning av inflöde. Beckman (2013) har dock kunnat göra en uppskattning vilket har använts i denna studie.

5 Vismut resultat och diskussion

5.1 Källor till reningsverk

I denna substansflödesanalys har fokus legat på varor och sådan användning som kan ge en påverkan på vismuthalter i avloppsvatten och uppmätta mängder vismut i slam i Henriksdals reningsverk. Beräknade vismutmängder (kg/år) från olika varor eller andra källor till Henriksdals reningsverk redovisas i Tabell 5-1. I tabellen framgår även vilka mängder detta motsvarar per person samt en grov bedömning av beräkningarnas osäkerhet (se diskussion nedan). Därefter presenteras och diskuteras Bi i flöden och stock (lager) för Stockholm. För varor som inte ger ett utflöde till reningsverk har inte heller inflöde eller stock granskats. Beräkningarna samt utförligare beskrivning för inflöde, stock och utflöde av vismut visas i Bilaga 2.

En betydande del av vismut i avloppsvattnet kommer från hushåll (Tabell 5-1). Kosmetika och plast är de största källorna som bidrar med 23 % och 13 % vardera. Vismutinnehållet i plast kan variera mellan olika produkter (Beckman, 2013). Urin och fekalier uppskattas som en försumbar källa till vismut från hushåll. Utanför hushåll är fordonstvätt en nämnbar källa medan tvätterier, dagvatten, dricksvatten och användning av fällningskemikalier kan ses som försumbara.

Tabell 5-1 Beräknade vismutmängder från olika varor/källor till Henriksdals reningsverk per år (2012).

Vara/källa	Medelvärde ¹ (kg Bi/år)	Andel (%)	Per person ² (mg Bi/år)	Osäkerhet ³
Hushåll				
Kosmetika	27	23	35	Hög
Plast	14,5	13	19	Hög
Färg	1,3	1,1	1,6	Hög
Urin och fekalier	0,2	<0,1	0,3	Låg
Verksamheter				
Fordon (tvätt)	11	9,3	14	Medel
Tvätterier	0,7	<0,1	0,9	Låg
Övrigt				
Dricksvatten	0,7	0,6	0,9	Hög
Dagvatten	1	0,9	1,4	Hög
Läck- och dränvatten	-	-	-	-
Fällningskemikalier	0,6	0,5	0,8	Hög
Rörsediment	-	-	-	-
Totalt	57	49	74	
Totalt uppmätt mängd	116⁴			

¹ För beräkning av medelvärde – se Bilaga 1

² 767 650 personer var anslutna till Henriksdals reningsverk år 2012

³ Osäkerhet utifrån kapitel 3.2

⁴ Mängd i slam, mängd i utgående vatten antas försumbar, se tidigare text

- Potentiell källa, men underlag för beräkning saknas

Fordonstvätt är en källa till vismut, huvudsakligen via lastbilar (Bilaga 4). Vismut kan förekomma naturligt i vårt dricksvatten, men då koncentrationen alltid ligger under detektionsgränsen är det svårt att veta hur stor mängd vismut som naturligt cirkulerar. En mängd på 0,7 kg/år har beräknats utifrån uppmätta halter Bi i vattendrag (Randahl, 1997; Naturvårdsverket, 1999).

Inflöde av vismut i olika varor per år till Stockholm samt upplagrad mängd vismut (stock) i olika varor har beräknats. I Tabell 5-2 presenteras min- och maxvärden för vismutmängder i inflöde (kg/år) till och i stock (kg) inom Stockholm för år 2012. Utflödet är begränsat till flöden till Henriksdals reningsverk.

Tabell 5-2 Sammanställd substansflödesanalys för Stockholms teknosfär. Mängder Bi i olika flöden och stock (upplagrad mängd). Utflödet är begränsat till flöden till Henriksdals reningsverk.

Vara/källa	Inflöde min (kg)	Inflöde max (kg)	Stock min (kg)	Stock max (kg)	Utflöde min (kg)	Utflöde max (kg)
Hushåll						
Kosmetika	4,5	111	0,5	11	1,4	210
Plast	86 000	430 000	431 000	4 300 000	5,0	24
Färg	2 400	3 200	12 000	32 000	-	1,1
Urin och fekalier	er	er	er	er	-	0,2
Verksamheter						
Fordon (tvätt)	-	-	-	-	-	11
Tvätterier	-	-	-	-	-	0,7
Övrigt						
Dricksvatten	er	er	er	er	0,3	1,1
Dagvatten	er	er	er	er	0,9	1
Läck- och dränvatten	-	-	-	-	-	-
Fällningskemikalier	-	-	-	-	0,2	0,9
Fyrverkerier	0,8	230	-	-	-	-
Totalt	89 000	430 000	440 000	4 300 000	8	250
Totalt uppmätt mängd						116¹

¹ Mängd i slam, mängd i utgående vatten antas försumbar, se tidigare text

- Underlag för beräkning saknas

er = ej relevant

Beräkningar har ibland utförts på olika sätt eller med exempelvis medianvärde och medelvärde från analyser vilket resulterat i ett min-respektive maxvärde (Tabell 5-2). För andra anges endast ett maxvärde. Detta är för produkter där endast ett värde kunnat beräknas och de har då bedömts som ett maximalt värde, eller i vissa fall ett värsta fall scenario. För flera produkter har inte något inflöde eller stock beräknats på grund av att dessa flöden/stock inte är relevanta eller att data saknas.

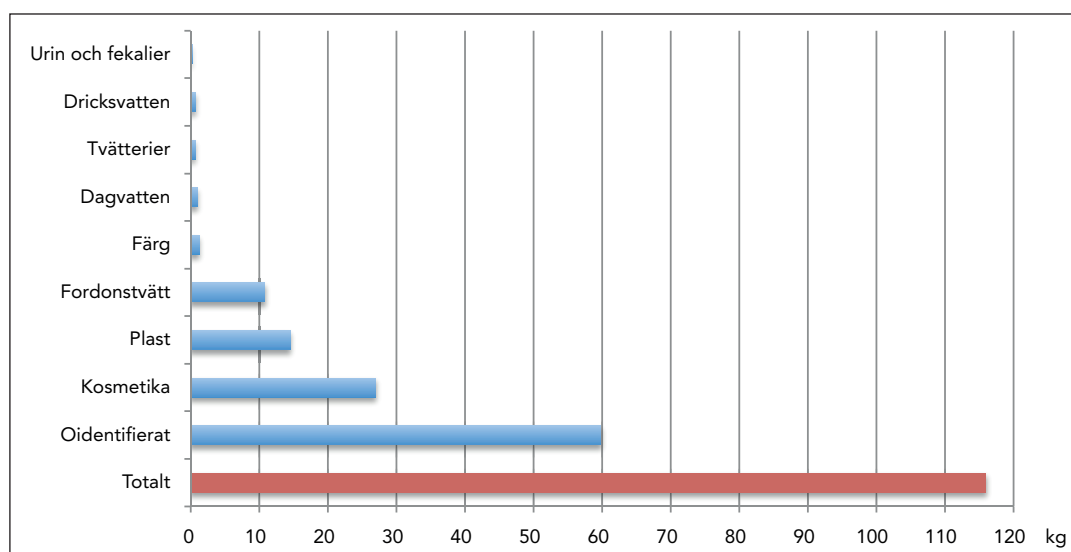
Kosmetika, plast samt fordonstvättar bedöms som de största källorna till uppmätta halter vismut och bidrar tillsammans med 6,4–250 kg Bi.

Vismut i Henriksdals reningsverk ökade drastiskt år 2007 och en anledning till detta kan vara införandet av mineralpuder omkring 2006 som innehåller mer mineraler (metaller) än andra produkter (Källa: Internetsökning och granskning av blogginlägg) I denna studie har vismutbidraget från kosmetika beräknats till mellan 1,4 och 210 kg, vilket innebär en stor variation. Denna variation beror på extremvärden då omkring 30 % av de analyserade foundation- och puderproverna innehöll höga halter vismut. Beräkningar har därför gjorts utifrån viktade medelvärden baserat på storleken på koncentrationen i de olika produkterna (Bilaga 1). Denna studie visar därför att vismut i kosmetika kan förklara 23 % av uppmätta mängder hos Henriksdals reningsverk. Karlsson (2012) uppskattar att vismut i kosmetika kan förklara omkring 50 % av den uppmätta mängden vismut hos reningsverket Slottshagen i Norrköping, vilket skulle motsvara omkring 60 kg till Henriksdals reningsverk. Wittgren och Pettersson (2013) uppskat-

tar istället andelen till 40 %, vilket skulle motsvara 45 kg till Henriksdals reningsverk. Dessa studier inkluderar dock färre analyser vilka begränsats till produkter som innehåller vismut, varför de kan ha överskattat andelen. Andra rapporter hävdar däremot att kosmetika kan vara en försumbar källa till vismut i reningsverken (Lindgren, 2009; Stockholm Vatten, 2010).

Denna studie har uppskattat att fordonstvättar kan förklara 9 % av inkomsten Bi, medan Wittgren och Pettersson (2013) uppskattar att denna siffra är närmare 1 %. Skillnaden mellan den studien och denna studie är att denna studie använt två olika slags beräkningar och då inkluderat fordonstvättar som inte enbart utförts på anläggningar. Detta ger ett större bidrag av Bi.

Den procentuella andelen av olika varor/källor för vismut i utflöde till Henriksdal, upplagrat i Stockholms teknosfär (stock) och inflöde till Stockholm finns redovisat i Figur 5-1–5-3.



Figur 5-1 Vismut utflöde i Stockholm 2012 till Henriksdals reningsverk. Total uppmätt mängd 116 kg. Total identifierad mängd 69 kg.

Vismut i plast och färg har stora osäkerheter då vismut i exempelvis plast kan förekomma i halter mellan 0 och 5 %. Detta ger ett stort intervall med hög osäkerhet. Mer studier behövs för att undersöka hur vanligt förekommande vismut är i just de nämnda plasterna (Bilaga 9.2), i vilka halter de kan förekomma samt hur benägna de är att lakas från plasten i kontakt med vatten. I denna studie har siffror från Beckman (2013) använts, där en uppskattning har gjorts över utsläpp av vismut från plast och färg.

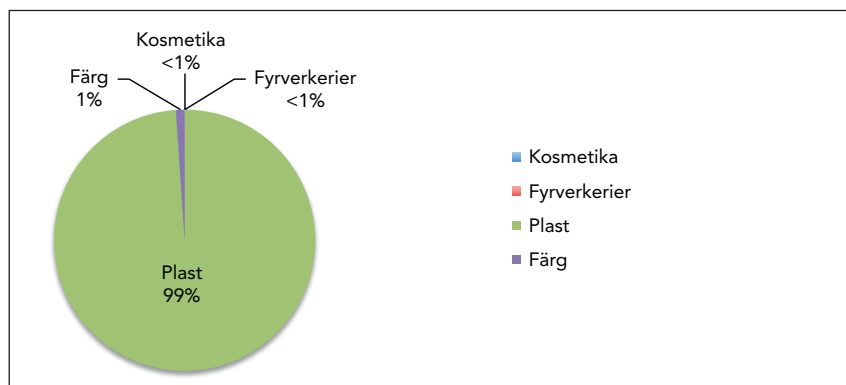
5.2 Inflöde till Stockholms teknosfär

I Figur 5-2 visas inflödet av vismut till Stockholms teknosfär under 2012. Detta är baserat på medelvärdet av det minimala och maximala värdet för flödena (Tabell 5-2). Figuren saknar dock flöden som inte har kunnat beräknas eller inte har varit relevant i denna studie. Detta inkluderar exempelvis fordonstvättar, vilka frigör vismut vid tvätt. Ett annat inflöde som

inte kunnat beräknas är textilier, sådana som tvättas hos tvätterier. Vismut i sådan textil kan förekomma i exempelvis mattor eller material med plast i sig, varför detta flöde i denna studie inkluderats i inflödet för plast.

Fyrverkerier är ett inflöde som kan ge en påverkan på utflödet. Undersökningar visar dock att vismut inte ökar i dagvattnet vid exempelvis nyår då fyrverkerier används (Lagerkvist, 2012), vilket innebär att det möjliga inflödet på mellan 1 kg och 230 kg Bi istället hamnar någon annanstans och inte påverkar avloppsvattnet och reningsverken nämnvärt.

Störst inflöde har plast (46 ton – 430 ton), vilket står för 99 % av inflödet av vismut till Stockholm. Mindre inflöden inkluderar färg (2,4 ton – 3,2 ton), kosmetika (4,5 kg – 110 kg) och fyrverkerier (0,8 kg – 230 kg) (Tabell 5-2).

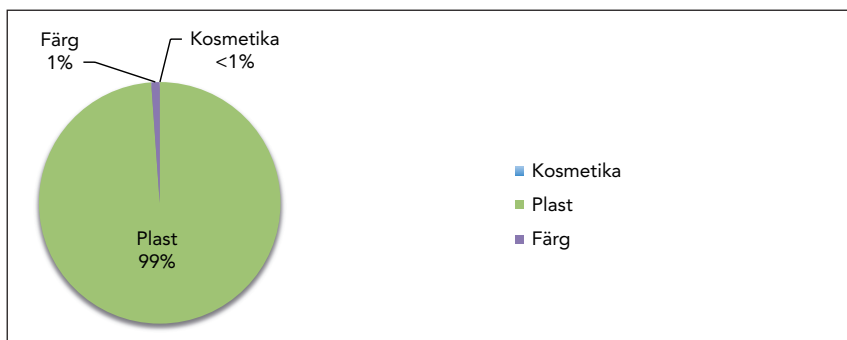


Figur 5-2 Olika källors andel av vismutinflöde till Stockholms teknosfär (kg/år). Total mängd 260 000 kg (år 2012).

5.3 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)

I Figur 5-3 visas stocken av vismut i Stockholms teknosfär under 2012. På liknande sett som för inflödet saknar figuren källor som inte har kunnat beräknas eller inte har varit relevant i denna studie. Stocken består till största del av plast (430 ton – 4 300 ton) men vismut finns även i mindre mängder upplagrat i färg (12 ton – 32 ton) och kosmetika (0,5 kg – 320 kg).

Stocken av vismut i plast och färg har i denna och Beckmans (2013) studie beräknats vara höga. Majoriteten av detta hamnar dock inte i avloppsvattnet. Det är även en hög osäkerhet förknippad med detta flöde. Inflöde och stock indikerar dock på att majoriteten av metallen förekommer främst i plast och färg, vilket skulle kunna vara i vilka delar inom fordonet som vismut kan hittas. För fyrverkerier har ingen stock beräknats då detta inte ansågs relevant för studien.

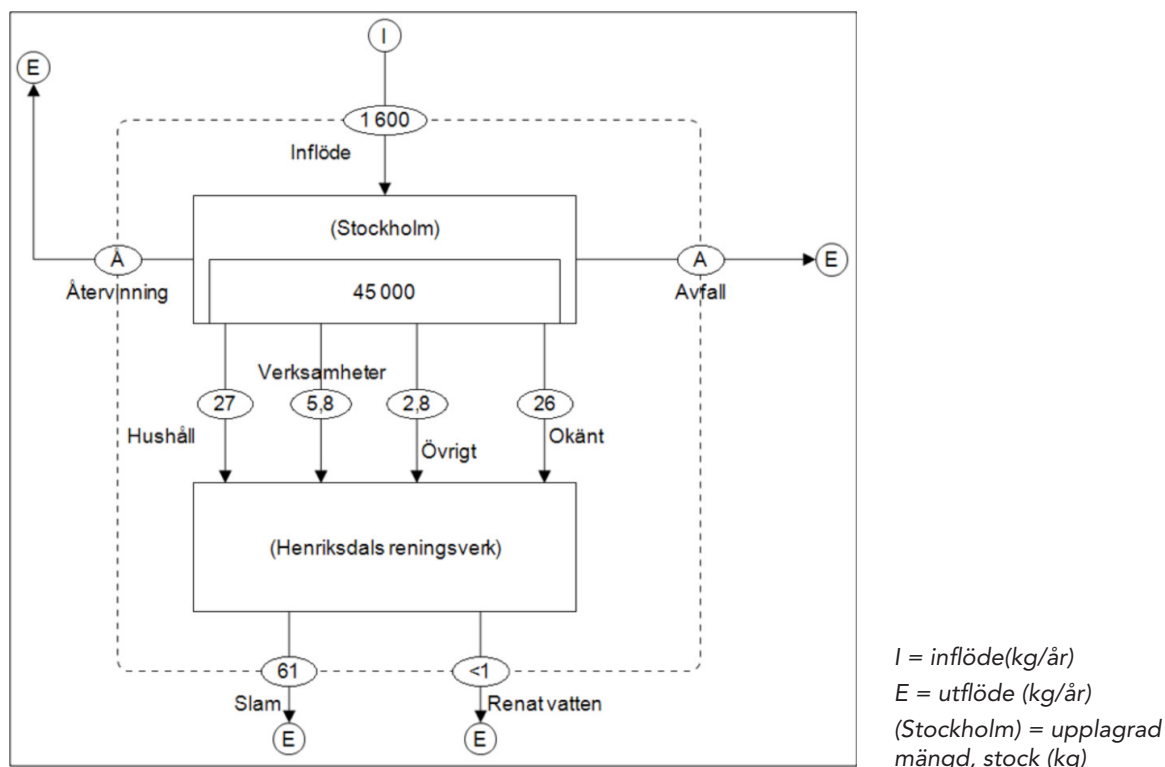


Figur 5-3 Olika källors andel av upplagrad mängd vismut i Stockholm teknosfär 2012. Total mängd 2 400 ton.

6 Resultatsammanfattning silver och vismut

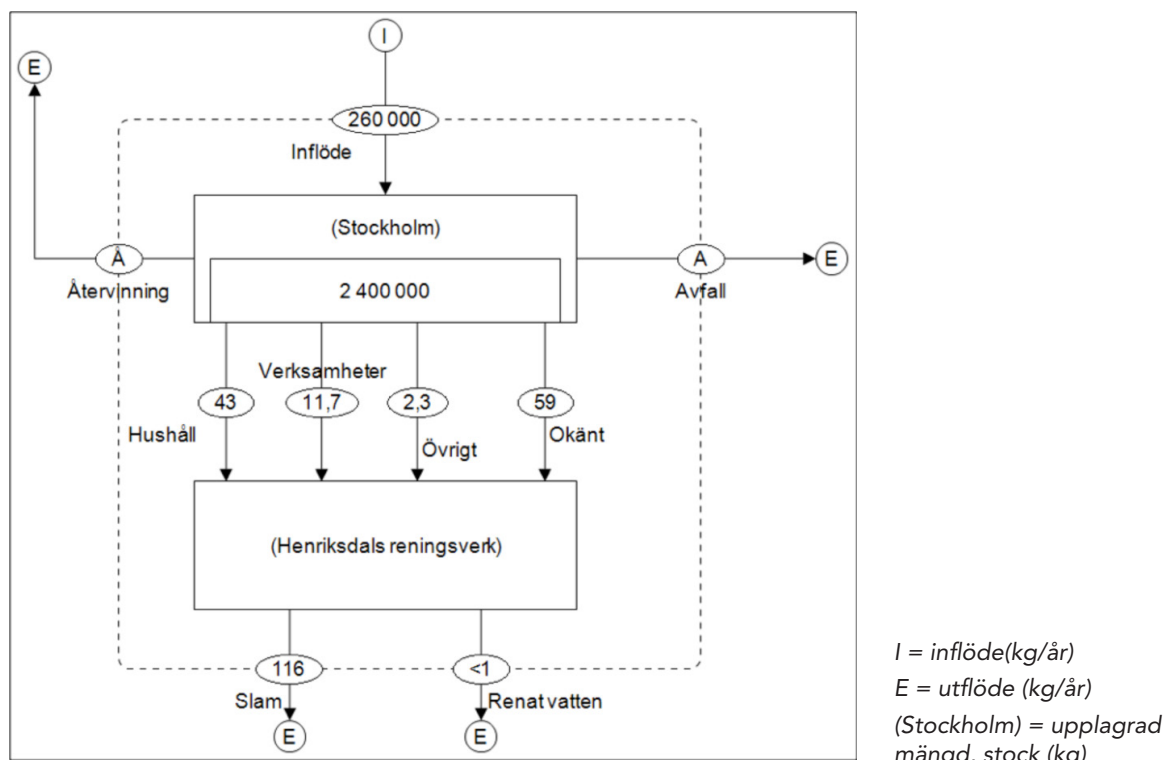
Här sammanfattas de viktigaste resultaten av vår studie med syfte att ge en utgångspunkt för diskussion om åtgärder och strategier för att reducera silver och vismut i urbant avloppsvatten (se vidare Kap. 7). Med metoden substansflödesanalys erhålls data över inflöde till samhället, stock (upplagrad mängd i samhället) och utflöde från samhället. Kunskap om inflöde av varor och produkter till Stockholm kan vara betydelsefull för att välja rätt åtgärd. På samma sätt kan kunskap om upplagrad mängd (stocken) fördelad på olika användningsområden ibland vara viktig för en åtgärdsanalys. I denna studie är dock huvudsakligt fokus på källor som ger flöden till reningsverk (Henriksdal). Utflöde i form av återvinning eller avfall ligger utanför studiens systemgräns.

För silver kan resultaten sammanfattas enligt Figur 6-1. Inflöde till samhället uppskattas till 1 600 kg/år och upplagrad mängd (stock) till 45 000 kg. Flöden till reningsverk ligger i en helt annan storleksordning. Studien identifierar 35 kg Ag/år vilket motsvarar 56 % av totalt uppmätt mängd till Henriksdals reningsverk (61 kg). Flöden från hushåll är den helt dominerande källan (27 kg/år).



Figur 6-1 Summerad SFA för silver. Mängd silver som återvinns eller hamnar i avfall har inte uppskattats. Streckad linje anger systemgräns. (modellering enligt STAN www.stan2web.net).

För vismut kan resultaten sammanfattas enligt Figur 6-2. Inflöde till samhället uppskattas till 260 000 kg/år och upplagrad mängd (stock) till 2 400 000 kg, d.v.s. betydligt större mängder än för silver. Flöden till reningsverk ligger dock fortfarande i en helt annan lägre storleksordning. Studien identifierar 57 kg Bi/år vilket motsvarar 49 % av totalt uppmätt mängd till Henriksdals reningsverk (116 kg). Flöden från hushåll är den dominerande källan (43 kg/år) men även flöden från verksamheter är betydande (11,7 kg/år).



Figur 6-2 Summerad SFA för vismut. Mängd vismut som återvinns eller hamnar i avfall har inte uppskattats. Streckad linje anger systemgräns. (modellering enligt STAN www.stan2web.net).

Genom att ange beräknade och uppmätta mängder metall per person och år kan jämförelser med andra reningsverk göras (Tabell 6-1). Här redovisas beräknade totala mängder till Henriksdal samt uppmätta mängder för Henriksdal, Ryaverken och Slottshagen. För både silver och vismut är flöden från hushåll dominerande bland identifierade källor. Därför är en jämförelse med andra studier inriktade på hushållsspillvatten extra intressant (Tabell 6-2). Stockholm Vatten undersöker årligen spillvatten från hushåll i Skarpnäck och har utifrån det beräknat mängd per person och år för flera metaller. En liknande studie har gjorts av hushållsspillvatten till Slottshagens reningsverk under 2012.

Totala uppmätta mängder till reningsverk per person och år skiljer sig åt för silver men är i samma storleksordning för vismut (Tabell 6-1). Förklaringar till att silver varierar kan vara osäkerheter i analyser och beräkningar och att det kan finnas ytterligare okända källor till Henriksdal och Slottshagen. Ryaverket i Göteborg har lägre total mängd Ag/person och år och Bi/person och år än Henriksdals reningsverk. Det kan bero på att Stockholm har andra källor utöver hushåll som inte finns i Göteborg. Slottshagen lig-

ger placerad mellan det uppmätta värdet Henriksdal och Ryaverket när det gäller total mängd silver och i ungefärlig nivå som dessa när det gäller total mängd vismut.

Tabell 6-1 Uppmätta mängder silver och vismut per person och år hos olika reningsverk samt jämförelse med beräknade värden från denna studie för totala mängder.

	mg Ag/person och år	mg Bi/person och år
Totala mängder		
Henriksdal beräknat (denna studie)	46	74
Henriksdal uppmätt	78	148
Ryaverket uppmätt	50	137 ¹
Slottshagen uppmätt	62	152

¹ Årsvärde beräknat endast utifrån 2 månadsvärden

För flöden från hushåll är likheten stor mellan beräknande mängder Henriksdal och uppmätta mängder Skarpnäck, medan den för Slottshagen är lägre för silver och högre för vismut (Tabell 6-2). Mängdberäkning för Slottshagen bygger på färre antal analyser än för Henriksdal vilket gör osäkerheten större. Kvaliteten på hushållspillvatten borde inte variera så mycket mellan olika områden. Det är oklart vad detta kan bero på, men det stödjer det faktum att variationer finns mellan olika städer. En teori är att det finns skillnader i beräkningarna, där resultatet kan skilja beroende på om medelvärdet eller medianvärdet används. För uppmätta mängder mg/person och år från hushållspillvatten ligger Slottshagen lägre än Henriksdal för Ag men något högre för Bi.

Tabell 6-2 Uppmätta mängder silver och vismut per person och år hos olika reningsverk samt jämförelse med beräknade värden från denna studie för flöden kopplade till hushåll.

	mg Ag/person och år	mg Bi/person och år
Hushåll		
Henriksdal beräknat (denna studie)	34	56
Skarpnäck	39	54
Slottshagen	18	91

De huvudsakliga källorna till silver och vismut är textilier respektive kosmetika. Nedan sammanfattas och diskuteras dessa separat. Därefter följer en sammanfattning och diskussion för övriga källor (med > 5 % bidrag till Henriksdals reningsverk).

6.1 Textilier

Denna studie visar tydligt att silver i kläder är en bidragande källa till uppmätta mängder silver hos reningsverken i Sverige. Detta stämmer väl med Arvidsson (2010) som påpekar att nanosilver i textilier i framtiden kan bli en av de största källorna till silver i våra reningsverk och med Kemikalieinspektionen (2011) som anger att upp till 98 % av silver i kläder tvättas ut inom 10 tvättar. Svenskt Vatten har påbörjat ett arbete med att verka för minskad silveranvändning i textilier. Under 2012 beslutade exempelvis två stora företag att sluta sälja silverbehandlade kläder (REVAQ, 2013).

6.2 Kosmetika

Vismut har i denna studie hittats i foundation, puder och ögonskugga vilka sammantaget utgör den identifierade källan som bidrar med störst Bi-flöde till reningsverk. Metallen finns även närvarande i annan kosmetika (Karls-son, 2012; Stockholm Vatten, 2010).

6.3 Hushåll (exklusive textilier och kosmetika)

Urin och fekalier bidrar med silver till reningsverket men även små mängder vismut. Andelen vismut bedöms i denna studie vara försumbar medan den för silver kan förklara 15 % av uppmätt silver hos Henriksdals reningsverk. Av dessa 15 % kommer 6 % från amalgam och denna del minskar årligen då det inte längre tillsätts nytt amalgam i svenskars tänder.

Silveranvändningens storlek via städprodukter är i dagsläget okänt för Sverige, men detta bedöms vara en potentiell silverkälla. I denna studie uppskattas cirka 7 % av uppmätt silver hos Henriksdals reningsverk komma från städprodukter (Tabell 4-1).

Vismut finns närvarande i plast (PE-plast, PA-plast och ABS-plast) i okända mängder. Vismutvanadat kan förekomma med en halt på 0–5 % hos dessa plaster, men data saknas på hur vanligt ämnet egentligen är i plast. En uppskattning på ett bidrag av 14 kg Bi/år till Henriksdals reningsverk har beräknats (Beckman, 2013), men denna mängd skulle kunna vara mellan 5 och 24 kg (Tabell 5-2).

6.4 Verksamheter

Fordonstvätt bidrar med silver och vismut till reningsverken i Sverige. Omkring 1,6 kg silver och 11 kg vismut från fordonstvättar kan årligen belasta Henriksdals reningsverk. Merparten av detta bedöms komma från tvättanläggningar, men även privatpersoner som tvättar sin bil ute på gatan kan bidra. Silver används fortfarande inom sjukvården i Sverige, men analyser av avloppsvatten från sjukhus visar låga halter silver. Huvuddelen av silvret bedöms användas hos mindre kliniker som fortfarande har analog röntgen.

6.5 Övriga bidrag

Tillförseln av silver och vismut via dagvatten till reningsverken är liten. Båda metallerna förekommer i dricksvatten men i mycket låga halter. En mindre mängd silver och okänd mängd vismut kommer från läck- och dränvatten. En okänd mängd finns också upplagrad som rörsediment.

7 Strategier för reduktion av silver och vismut i urbant avloppsvatten

Utifrån erhållna resultat föreslår vi här några åtgärder/strategier för reduktion av silver respektive vismut i urbant avloppsvatten. Förslag på åtgärder diskuteras endast för källor med ett bidrag på över 5 % till reningsverket. Resultaten bygger på data gällande Henriksdals reningsverk men vi bedömer att förslagen även är relevanta för andra urbana områden. Vi diskuterar även aktörer som har möjlighet/rådighet att genomföra åtgärderna. Dessa är:

- Svenskt Vatten
- Avloppsreningsverk (VA bolag)
- Myndigheter
- Producenter
- Verksamhetsutövare
- Individer/hushåll/konsumenter

Myndigheter kan agera på lokal, regional, nationell och internationell nivå. Nationella myndigheter med inflytande i denna fråga inkluderar bland annat Kemikalieinspektionen och Naturvårdsverket. En sammanfattning hur stor påverkan de olika aktörerna bedöms ha för varje källa visas i Tabell 7-1 och diskuteras därefter i texten. Svenskt Vatten har ingen formell möjlighet att påverka dessa källor så som myndigheter har, men de kan vara opinionsbildande. I praktiken har myndigheter inte drivit frågan för vismut, medan silver uppmärksammats något.

Tabell 7-1 Olika aktörers bedömda möjligheter att påverka olika Ag och Bi-källor.

Källa	Bidrag till reningsverk ¹	VA bolag	Svenskt Vatten	Myndigheter	Producenter	Verksamhetsutövare	Individ/hushåll
Textilier	19 % Ag	L	L	H	H	0	L
Kosmetika	23 % Bi	0	L	H	H	0	0
Amalgam	15 % Ag	0	0	0	0	H	0
Städprodukter	7 % Ag	0	L	H	H	0	0
Plast	13 % Bi	0	L	H	L	0	0
Fordon (tvätt)	3 % Ag 9 % Bi	H	0	0	0	H	H
Sjukvård	6 % Ag	L	0	H	L	H	0

¹ se tabell 4-1 och 5-1

² amalgam är i denna studie inkluderad i urin och fekalier

0 aktören bedöms sakna eller ha en starkt begränsad möjlighet att påverka källan

L aktören bedöms ha en låg påverkan på källan

H aktören bedöms ha en hög påverkan på källan

7.1 Textiler

Silverjonen är starkt toxisk. Silver i textilier räknas idag dock inte som en biocid, vilket innebär att användningen inte faller under lagstiftningen för biocider (EU förordningen nr 528/2012). En relevant lagstiftning skulle öka möjligheterna till en större kontroll över användningen. Myndigheter på olika nivåer, främst nationellt och inom EU bör därför verka för detta.

Även Svenskt Vatten kan vara en viktig aktör för att påverka myndigheter och producenter.

Naturvårdsverket (2013) föreslår gränsvärden för silver i slam. För att klara gränsvärdena måste inflödet av silver till reningsverken minska. Det är då viktigt att myndigheterna samtidigt även arbetar för begränsningar och/eller förbud mot silver i textilier m.fl. produkter.

Tvätterier och verksamheter som tvättar arbetskläder och andra slags textilier bör åläggas att analysera silver och vismut i utgående vatten för att på det sättet visa eller utesluta om detta är en källa till silver och vismut hos reningsverken. Det ligger hos producenten att göra valet att sluta använda silver. Under 2012 har några klädestillverkare slutat använda silver i sina produkter (REVAQ, 2013), efter påverkan från Svenskt Vatten. Svenskt Vatten föreslås därför gå vidare och utreda om detta är möjligt även för andra tillverkare. Svenskt Vatten och större VA bolag kan driva frågan om silveranvändningen i textilier genom bland annat undersökningar och dialog med producenter.

Det är svårt för konsumenter att kunna välja bort silver i kläder, bland annat för att det inte alltid uttryckligen står vad för slags biocid kläderna innehåller. Tydlig märkning skulle ge konsumenterna möjligheten att välja bort produkter med silver. En kampanj skulle kunna hållas som ger information om detta och uppmanar konsumenterna att fråga efter silverfria kläder och produkter.

Störst möjlighet att påverka denna silverkälla bedöms myndigheter, främst nationella, och producenter ha (Tabell 7-1). Även Svenskt Vatten kan påverka denna källa, men i mindre skala än de övriga två.

7.2 Kosmetika

Vismut har klart mindre toxiska egenskaper jämfört med silver. Likafullt är vismut ett problem för reningsverk då vismut på lång sikt kan ackumuleras i åkermark vid slamspridning. Detta problem är troligen okänt för många. Därför behövs en informationskampanj riktad till både producenter och konsumenter. Vi föreslår att Svenskt Vatten tar initiativ till att en sådan kampanj kommer till stånd. I Naturvårdsverkets (2013) förslag till ny slamförordning är inte vismut omnämnt. Det är enbart inom REVAQ som vismut uppmärksammas som ett problem. Eventuella risker med ackumulation av vismut i åkermark behöver uppmärksammas och bedömas av myndigheterna. Därefter kan det bli aktuellt med eventuell reglering.

Med en ökad medvetenhet hos konsumenter ökar också viljan att välja *kosmetikaprodukter utan vismut*. Idag är detta svårt då innehållsförteckning på kosmetikaprodukter saknas eller ger för lite information. Silver och vismut nämns i lagen EG 1223/2009 om kosmetikaprodukter av vilket nyligen uppdaterats och trädde i kraft den 11 juli 2013. Detta är en utveckling av det tidigare kosmetikadirektivet 76/768/EEG. Det finns inga restriktioner för användningen av vismut i kosmetika, utan den är enligt EU en tillåten metall för användning i kosmetika. Lagen säger dock att alla produkter måste ha en innehållsförteckning, vilket kommer att underlätta val i framtiden.

den. För att kontrollera efterlevnaden av denna lag, föreslår vi att myndigheter på lokal och nationell nivå intensifierar tillsynen.

Det ligger främst på producenterna att ansvara för ämnena som används i deras produkter. De måste undersöka risken och faran med ett visst ämne innan de används i produkterna. De kan även ställa krav på sina leverantörer att uppfylla samma krav. Med en tydligare problembild bör producenter bli mer benägna att minska användningen av vismut i sina kosmetikaprodukter. Myndigheterna kan driva denna fråga nationellt och inom EU med kunskapsunderlag från Svenskt Vatten.

Störst möjlighet att påverka framförallt vismut i kosmetika bedöms finnas hos lokala och nationella tillsynsmyndigheter och producenter. Svenskt Vatten kan påverka myndigheter.

7.3 Hushåll (exklusive textilier och kosmetika)

Silver i amalgam är på väg att fasas ut sedan Sverige förbjöd användningen av amalgam 2009. Silvermängden som finns upplagrad i tändarna i Stockholm minskar med uppskattningsvis 2 % per år (Bilaga 1). De övriga mängderna silver i urin och fekalier bedöms komma från hygienprodukter och föda. Studier visar att silver förekommer i föda, men inga uppskattningar har gjorts för livsmedel i Sverige.

Inom hushåll har potentiellt betydelsefulla källor identifierats, men där beräkningar har en stor osäkerhet. Svenskt Vatten föreslås därför stödja fler undersökningar av hushållsprodukter, exempelvis silver i städprodukter och vismut i plast. Det behövs mer kunskap för att kunna finna och genomföra relevanta åtgärder.

7.4 Verksamheter

Information skickas kontinuerligt ut till privatpersoner om hur viktigt det är att tvätta bilen på rätt sätt och de största tvättanläggningarna har kompletterande rening utöver oljeavskiljare. Hushållen har därför ett ansvar när det gäller *silver- och vismututsläpp från fordonstvättar*. Kontinuerliga provtagningar görs på vatten från större fordonstvättar, vilket innebär att det är lättare att förstå vilka slags verksamheter och fordon som släpper ut mer eller mindre av dessa metaller. Ett ansvar ligger hos VA bolagen samt hos kommunen att ge information till privatpersoner samt kräva provtagning på biltvättar och ställa krav på kompletterade rening.

Storleken på *silveranvändningen inom röntgen och annan sjukvårdsutrustning* är idag okänd. Data visar att silver globalt används inom sjukvården och det är upp till de olika verksamhetsutövarna att vara medvetna om vilka ämnen de använder i exempelvis sin röntgen. En undersökning skulle kunna utreda hur vanligt förekommande detta är i Sverige och mer information skulle kunna skickas ut till bland annat små kliniker för att på det sättet öka medvetenheten om silver i sjukvårdsprodukter. Det ligger hos bland annat kommuner men även hos VA bolag att göra dessa uppmärksamma på frågan.

7.5 Övriga bidrag

Hos flera reningsverk i Sverige behöver mängderna silver och vismut i inkommande vatten och slam minska. De som är certifierade enligt REVAQ är speciellt intresserade av metoder att minska dessa mängder. De okända mängder och de mängder som beräknats för dricks-, dag-, läck- och dränvatten bedöms svåra att sätta in åtgärder mot. Dagvatten kan separeras från kombinerade system. VA-bolagen kan kartlägga sediment i sina avloppsrör och vid behov vidta försiktighetsåtgärder vid spolningar. Hushållen kan göra det miljömedvetna valet att tvätta bilen i en anläggning med rening istället för exempelvis hemma på gatan.

7.6 Kunskapsluckor – fortsatt arbete

Det finns ingen EU-lagstiftning gällande de produkter och källor som nämns i denna studie då silver och vismut idag inte prioriteras i andra EU-länder på samma sätt som i Sverige. Myndigheter som kan påverka EU och dess lagstiftning kan därför ha problem att få genomslag då silver- och vismutfrågan är unik för Sverige (Finnson, 2013). Det är exempelvis enbart inom REVAQ som vismut uppmärksammas som ett problem. Internationella myndigheter, producenter, konsumenter m.fl. ser därför inte vismut som ett problem. Det är därmed extra svårt att ställa krav på utfasning eller begränsning.

Denna studie visar vilka källor som är viktiga när det gäller uppmätta mängder silver och vismut hos svenska reningsverk. Den har också identifierat avsaknaden av relevanta studier för flera tänkbara källor inom området vilket krävs för att kunna få en heltäckande bild. För att kunna göra en komplett substansflödesanalys behövs kompletterande information om mängd silver och vismut i olika produkter samt eventuella lakningshastigheter.

Silver i städprodukter används globalt men det saknas studier om situationen i Sverige. Mer information krävs om hur vanligt förekommande silver är i städprodukter samt i vilka slags produkter. Även källor till silver i urin och fekalier borde utredas. En sådan studie skulle kunna visa om silver i livsmedel är en bidragande orsak till uppmätta silvermängder hos svenska reningsverk.

Vismut i plast kan vara en stor källa till uppmätta mängder vismut hos reningsverken, men mer studier behövs för att undersöka storleken på denna källa. Enligt uppmätta värden omräknat till mg/person till Henriksdals reningsverk och från Skarpnäck kan det konstateras att omkring 1/3 av källorna till vismut kommer från hushåll (Tabell 6-1 och 6-2). Majoriteten av detta har identifierats i denna studie och den kvarstående oidentifierade mängden kommer med största sannolikhet inte från hushåll. Mer studier behövs därför som undersöker användningen av vismut inom exempelvis olika industrier och andra källor till spillvatten (förutom hushåll).

Avslutningsvis föreslår vi att en uppdaterad SFA-analys för silver och vismut genomförs om ca 5–10 år för att följa utvecklingen över tid.

8 Referenser

Litteratur, elektroniska källor och webbsidor

- Adolfsson-Erici M. & Allmyr M. 2007. *Antibakteriellt behandlade konsumentprodukter – källa till exponering av människa och miljö?* Stockholm stad, Stockholm, 2007.
- Almqvist H., Andersson Å., Jensen A. & Jönsson H. 2007. *Sammanställning och flöden på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers*. Svenskt Vatten: Rapport Nr 2007-05, Stockholm.
- Arvidsson, R., Molander, S. & Sandén, B.A. 2010. Impacts of a Silver-Coated Future – Particle Flow Analysis of Silver Nanoparticles. *Journal of Industrial Ecology* 15 (6), 844–854.
- Beckman, M. 2013. Silver och vismut i plaster och färger – källor till förhöjda halter i slam? Examensarbete, Linnéuniversitetet.
- Benn, T., Cavanagh, B., Hristovski, K., Posner, J. D. & Westerhoff, P. 2010. The Release of Nanosilver from Consumer Products Used in the Home. *Journal of Environment Quality*, 39, 1875–1882.
- Benn, T. & Westerhoff, P. 2008. Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics. *Environment science & Technology*, 42, 4133–4139.
- Besecker, K.D., Rhades, C.B. Jr., Jones, B.T. och Barnes, K.W. 1998. A simple closed-vessel nitric acid digestion method for cosmetic samples. *Atomic Spectroscopy* 19 (2), 48–54
- Bilberg K, Malte H, Wang T, Baatrup E. 2010. Silver nanoparticles and silver nitrate cause respiratory stress in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquatic toxicology*, 2010, 96, 159–65.
- Blaser, S.A., Schringer, M., Macleod, M. & Hungerbühler, K. 2008. Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: contribution of nano-functionalized plastics and textiles. *The Science of the total environment*, 390, 396–409.
- Bowen, H.J.M. 1982. *Environmental Chemistry*, London, The Royal Society of Chemistry.
- Bowen, H.J.M. 1985. *The Cycles of Copper, Silver and Gold*. I Hutzinger, O. (Ed) *The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin, Springer Verlag.
- Brooks, W. E. 2012. *Silver*. I: Silver Statistics (ed.) Silver statistics. USGS.
- Bryan, G. W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 17, 389–410.
- Butterman, W. C. & Hilliard, H. E. 2004. *Silver*. Mineral Commodity Profiles. Virginia: USGS – U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey.

Carlsson, A., Hemström, K., Edborg, P., Stenmark, Å. & Sörme, L. 2011. Kartläggning av mängder och flöden av textilavfall. I: SMED – Svenska Miljöemissionsdata (ed.) Rapport 46.

Cosmeticsinfo.org u.d. *Bismut Oxychloride*. [Elektronisk] Tillgänglig: http://www.cosmeticsinfo.org/ingredient_more_details.php?ingredient_id=593 2013-01-14

Diener, L.D., Palme, U. 2012. *Silver i produktkedjan: Från konsumentvaror till avloppsslam med aktörsperspektiv*. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2012-18

Drake, P. L. and K. J. Hazelwood. 2005. Exposure-related health effects of silver and silver compounds: a review. *The Annals of occupational hygiene* 49(7): 575–585.

Enghag, P. 2000. *Jordens grundämnen och deras upptäckt*. Industri Litteratur

Enghag, P. 2004. *Silver*. I: Enghag P, (ed.). Encyclopedia of the Elements. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Örebro, 2004, pp. 123–138.

Ericsson, J. 2001. *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. Naturvårdsverket, Rapport 5148

Farkas, J., Peter, H., Christian, P., Gallego Urrea, J. A., Hasselov, M., Tuoriniemi, J., Gustafsson, S., Olsson, E., Hylland, K. & Thomas, K. V. 2011. Characterization of the effluent from a nanosilver producing washing machine. *Environment international*, 37, 1057–62.

Firman C. *Solvar cell's silver lining*. Photovoltaics International 2008; second edition,

GFMS 2011a. *The Future of Silver Industrial Demand*. I: Silver institutet (Ed.)

GFMS 2011b. *World Silver Survey 2011 A Summary*. I: Silver institutet (Ed.)

GFMS 2013. *World Silver Survey 2012 A Summary*. I: Silver institutet (Ed.)

Greenwood, N. N. & Earnshaw, A. 2002. *Chemistry of the Elements*, Oxford, Butterworth-Heinemann,

Griffitt, R. J., Hyndman, K., Denslow, N. D. & Barber, D. S. 2009. Comparison of molecular and histological changes in zebrafish gills exposed to metallic nanoparticles. *Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology*, 107, 404–15.

Gryab 2013. *Miljörapport Ryaverket 2012*. Gryab, Göteborg

Hatzigrigoriou, N.B. & Papaspyrides, C.D. 2011. Nanotechnology in plastic food-contact materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 122, 3719–3738.

Hirsch, M.P. 1998. Availability of sludge-borne silver to agricultural crops. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, 610–616.

IVL 2007. *Svenska Miljöinstitutet screeningdatabas – Miljöövervakning, sötvatten, metaller i sediment, 2007*. Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.

IVL 2011. *Svenska Miljöinstitutet Miljöövervakningsdata* [Elektronisk]. Göteborg. Tillgänglig: http://www3.ivl.se/miljo/db/IVL_screening_registersida.htm [Besökt 13 april 2012]. Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.

Karlsson, E. 2012. *Flödesanalys av spårelementen silver, guld, vismut och antimon från källa till avloppsslam*. Examensarbete, Linköpings universitet.

Kemikalieinspektionen 2011. *Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt – analys av silver, triklosan och triklokarban i textilier före och efter tvätt*. Kemikalieinspektionen nummer 4/11. Sundbyberg.

Kemikalieinspektionen. 2013. *Nyheter i EU:s biocidförordning* [Elektronisk]. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.kemi.se/sv/Innehall/Bekämpningsmedel/Biocidprodukter/Ny-biocidförordning-i-EU/> [Besökt 11 februari 2014]. Kemikalieinspektionen, Stockholm

Kicks. 2013. [Elektronisk] tillgänglig: <http://www.kicks.se/>

Kokura, S., Handa, O., Takagi, T., Ishikawa, T., Naito, Y. & Yoshikawa, T. 2010. Silver nanoparticles as a safe preservative for use in cosmetics. *Nanomedicine: nanotechnology, biology, and medicine*, 6, 570–4.

Kramer, J. R., Benoit, G., Bowles, K. C., Ditro, D. M., Herrin, R. T., Luther III, G. W., Manolopoulos, H., Robillard, K. A., Shafer, M. M. & Shaw, J. R. 2002. *Environmental Chemistry of Silver*. I: Andren, A. W. & Bober, T. W. (eds.)

Käppalaförbundet 2007–2012. *Miljörapporter* Stockholm

Lifset RJ, Eckelman MJ, Harper EM, Hausfather Z, Urbina G. Metal lost and found: dissipative uses and releases of copper in the United States 1975–2000. *The Science of the total environment* 2012; 417–418: 138–147.

Lindgren, M. 2009. *Vismut och volfram i slam*. I: Stockholm Vatten (ed.).

Livsmedelsverket. 2011a. *Kolloidalt silver* [Elektronisk]. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.slv.se/sv/Fragor--svar/Fragor-och-svar/Kosttillskott/Kolloidalt-silver/> [Besökt 15 mars 2012].

Livsmedelsverket 2011b. *Plast i kontakt med livsmedel* [Elektronisk]. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.slv.se/sv/grupp1/Risker-med-mat/Kemiska-amnen/Forpackningsmaterial/Plast-i-kontakt-med-livsmedel/> [Besökt 12 mars 2012].

Livsmedelsverket 2012. *E-nummernyckeln – godkända tillsatser*. [Elektronisk] tillgänglig: <http://www.slv.se/sv/grupp1/Markning-av-mat/Tillsatser-i-mat/E-nummernyckeln---godkanda-tillsatser/> Besökt 1 februari 2013

Lohm, U., Bergbäck, B., Hedbrant, J., Jonsson, A., Svidén, J., Sörme, L. & Östlund, C. 1997. *Databasen Stockhome – Flöden och ackumulering av metaller i Stockholms teknosfär*. Linköpings Universitet, Tema V Rapport 25.

Mueller, N. C. & Nowack, B. 2008. Exposure Modeling of Engineered Nanoparticles in the Environment. *Environmental science & technology*, 42, 4447–4453.

- National Research council of the national academies. 2005. *Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals solubility*, second revised edition.
- Naturvårdsverket 1996. *Silver – Occurrence, distribution and effects of silver in the environment*. Naturvårdsverket, Rapport 4664. Stockholm
- Naturvårdsverket 1999. *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – kust och hav*. Rapport 4914. Stockholm
- Naturvårdsverket 2012. *Miljö kvalitetsmål för avloppsslam*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Avlopp/Avloppsslam/Miljokvalitetsmal-for-avloppsslam/> Besökt: 14 januari 2013
- Naturvårdsverket, 2013. *Hållbar återföring av fosfor – Naturvårdsverkets redovisning av ett uppdrag från regeringen*. Rapport 6580. Stockholm
- Ndungu, K. 2011. Dissolved silver in the Baltic Sea. *Environmental research*, 111, 45–9.
- Nordén L, Tumlin S, Mattsson A. *Silveravgång vid rengöring och kemisk polering av silvergods*. I: Gryaab (ed.) 2011:10.
- Ntziachristos, L. & Boultnier, P. 2009. *Road Vehicle tyre and brake wear*. In: EMEP/EEA (ed.) EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009.
- Oleksiak, B. & Blacha, A. 2012. Study of silver removal from scrap jewellery by way of the flotation process. *Metabk*, 51 (1), 97–100.
- Panyala, N. R., Peña-Méndez, E. M. & Havel, J. 2008. Silver or silver nanoparticles: a hazardous threat to the environment and human health? *Journal of Applied Biomedicine*, 6, 117–129.
- Purcell, T. W. & Peters, J. J. 1997. Sources of Silver in the Environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, 539.546.
- Randahl, H., Dock, L. & Christiansson, J. 1997. *Molybden, vanadin, vismut: förekommande halter och effekter på miljö och hälsa*. Naturvårdsverket, rapport 4762. Stockholm
- Ratte, H. T. 1999. Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18, 89–108.
- REVAQ 2013. 2012 *Årsrapport*. I: REVAQ (ed.).
- RUS. n.d. *Körsträckedata*. [Elektronisk] Sverige. Tillgänglig: <http://projektwebbar.lansstyrelsen.se/rus/Sv/statistik-och-data/korstrackor-och-bransleforbrukning/Pages/default.aspx> [Besökt 1 mars 2013]
- SCB 2011–2013. *Hitta Statistik* [Elektronisk]. Tillgänglig: http://www.scb.se/Pages/List____250612.aspx [Besökt 1 februari 2013 - se bilaga 5]
- Samuel, U. & Guggenbichler, J. P. 2004. Prevention of catheter-related infections: the potential of a new nano-silver impregnated catheter. *International journal of antimicrobial agents*, 23 Suppl 1, S75–8.
- Sano, Y., Satoh, H., Chiba, M., Okamoto, M., Serizawa, K., Nakashima, H. & Omae, K. 2005. Oral toxicity of Bismuth in Rat: Single and 28-Day Repeated Administration Studies, *Journal of Occupational Health*, 47: s 293–298.

- Scown, T.M., Santos, E.M., Johnston, B.D., Gaiser, B., Baalousha, M., Mitov, S., Lead, J. R., Stone, V., Fernandes, T.F., Jepson, M., Van Aerle, R. & Tyler, C.R. 2010. Effects of aqueous exposure to silver nanoparticles of different sizes in rainbow trout. *Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology*, 115, 521–34.
- Silver, S., Phung Le, T. & Silver, G. 2006. Silver as biocides in burn and wound dressings and bacterial resistance to silver compounds. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 33, 627–34.
- Silverinstitutet 2012. *The Silver Institute*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.silverinstitute.org/site/> Besökt: 6 februari 2012
- Silverklubben. n.d. *Silverklubben – Frågor och svar* [Elektronisk]. Göteborg. Tillgänglig: <http://www.silverklubben.se/faq.html> [Besökt 30 mars 2012].
- Sternbeck, J. & Östlund, P. 1999. *Nya metaller och metalloider i samhället*. IVL – Svenska Miljöinstitutet (ed.). Stockholm: Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning
- Stockholm Vatten. 2005a-2012. *Miljörapporter*
- Stockholm Vatten. 2005b. *Beräknade metallutsläpp från fordonstvätt i Brommaverkets avloppsområde 2002*
- Stockholm Vatten. 2010. *Vismut och volfram i slam – En utvärdering av förmodade och identifierade källor*. Stockholm Vatten (ed.). Stockholm.
- Stockholm Vatten 2013a. *Miljörapport 2012*
- Stockholm Vatten 2013b. *Avloppsprovtagningar i anslutning till bostadsområde med avfallskvarnar som innehåller silver*.
- Svenskt Vatten 2013. *Vad är REVAQ?* [Elektronisk]. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/REVAQ/> [Besökt 1 november 2013]
- Svenson, A., Viktor, T., Palm-Cousins, A., Kaj, L., Woldegiorgis, A., Brorström-Lundén, E. & Thelle Uggerud, H. 2008. *Results from the Swedish National Screening Programme 2007 Sub report 5: Silver*. IVL (ed.). Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB
- Sörme L. and Lagerkvist R. 2002. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *The Science of the Total Environment* 298, 131–45.
- Sörme, L. 2006. *Kvicksilver i Stockholm 2002 – en substansflödesanalys*. Miljöförvaltningen. Mål 2 Säkra varor. Stockholm
- Thomas, P. 2009. *Behind the Label: nanosilver* [Elektronisk] Tillgänglig: http://www.theecologist.org/green_green_living/behind_the_label/340403/behind_the_label_nanosilver.html Besökt 9 december 2011
- Udo de Haes, H. A., Van der Voet, E. & Kleijn, R. 1997. *Substance flow analysis (SFA), an analytical tool for integrated chain management*. Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Kleijn, R. & Palm, V. (eds). Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability. Proceedings of the ConAccount Workshop 21–23 January, 1997, 1997 Leiden, The Netherlands.

- U.S. Geological Survey 2013a. *Silver statistics*. Silver Statistics (ed.). USGS.
- U.S. Geological Survey 2013b. *Bismuth statistics*. Bismuth Statistics (ed.). USGS.
- Van der Voet, E. 2002. *Substance flow analysis methodology*. Ayres, R. U. & Ayres, L. W. (eds.) A Handbook of Industrial Ecology.
- Van der Voet, E., Heijungs, R., Mulder, P., Huele, R., Kleijn, R. & Van Oers, L. 1995. Substance Flow Through the Economy and Environment of a Region. *Environmental Science & Pollution Research*, 2, 137–144.
- Wahlberg och Lagerkvist. (2013). Increased loads of hazardous substances to the Stockholm municipal WWTPs due to heavy rainfalls, snowmelt and maintenance of the sewerage system. Proceedings from IWA Conference on Holistic Sludge Management, Västerås, 2013.
- Wiechers, J. W. & Musee, N. 2010. Engineered Inorganic Nanoparticles and Cosmetics: Facts, Issues, Knowledge Gaps and Challenges. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 6, 408–431.
- Wittgren, H-B., Pettersson, F. 2013. *Flödesanalys av spårelement från källa till slam – Ett stöd i uppströmsarbetet*. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2013-12
- Wood, C.M., La Point, T.W., Armstrong, D.E., Birge, W.J., Brauner, C.J., Brix, K.V., Call, D.J., Crecelius, E.A., Pdavies, P.H., Gorsuch, J.W., Hogstrang, C., Mahoney, J.D., McGeer, J. C. & O'Connor, T. P. 2002. Biological Effects of Silver. In: Andren, A.W. & Bober, T.W. (eds.) *Silver in the Environment: Transport, Fate, and Effects*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- Zimmerman, S., Alt, F., Messerschmidt, J., Von Bohlen, A., Taraschewski, H. & Sures, B. 2002. Biological availability of traffic-related platinum-group elements (Palladium, Platinum, and Rhodium) and other metals to the Zebra mussel (*Dreissena Polymorpha*) in water containing road dust. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 2713–2718.

Personlig kommunikation

- Bohman, M. 2012. Privattandvårdsupplysningen. Skriftlig kontakt, 13 mars 2012
- Diurlin, E. 2013. Kemikalieinspektionen. Skriftlig kontakt 2 september 2013
- Finnson, A. 2013. Svenskt Vatten. Skriftlig kontakt 15 november 2013
- Kotsch, M. 2013. Stockholm Vatten. Muntlig och skriftlig kontakt vid flera tillfällen
- Lagerkvist, R. 2012, 2013. Stockholm Vatten. Muntlig och skriftlig kontakt vid flera tillfällen
- Läkemedelsupplysningen 2012. Muntlig kontakt, 3 maj 2012
- Mattsson, J. 2013. Gryab, Muntlig och skriftlig vid flera tillfällen
- Ramström, F. 2012. Kemikalieinspektionen. Skriftlig kontakt, 6 december 2012

Rydh, C. 2012, 2013. Norrköping vatten. Muntlig och skriftlig kontakt vid flera tillfällen

Vienola, S. 2012, 2013. Käppalaförbundet. Skriftlig kontakt vid flera tillfällen

9 Bilagor

9.1 Bilaga 1: Silver – Beskrivning och beräkningar

För beräkningarna gjorda i denna bilaga har nedanstående parametrar använts (Tabell 9-1). Värden som använts för de olika parametrarna presenteras nedan under rubrik 9.1.4.

Tabell 9-1 Parametrar som använts vid beräkningar.

Förkortning	Förklaring	Enhet
C	Koncentration Ag i vara/källa	% eller uppmätt enhet
C _{nano}	Andel av global nanoproduktion som använts	%
D	Användning per person och år	kg
DG	Detektionsgräns	µg/l
F	Del av såld mängd som innehåller silver	%
I	Inflöde Ag	kg eller g
M	Uppmätt volym inkommande vatten till Henriksdals reningsverk	1 000 l/år
M _H	Del av avloppsvatten i Stockholm som går till Henriksdals reningsverk	%
M _{ut}	Utgående vatten från anläggning	l/år
O	Utflyde Ag	kg
P	Sveriges befolkning	st
PP ₁	Befolkning Sverige / befolkning världen	%
PP ₂	Befolkning anslutna till Henriksdal / befolkning Sverige	%
PH	Personer anslutna till Henriksdals reningsverk	st
PH _{K 18-64}	Anslutna kvinnor mellan 18 och 64 år anslutna till Henriksdals reningsverk	st
S	Stock Ag	kg
T	Användningstid	år eller %
W _{nano}	Global produktion av nanosilver	kg
W _{Stockholm}	Användning/nyttillkommen användning i Stockholm 2012	st
W _{Sverige}	Användning i Sverige 2012	st, kg eller per person
W _{Världen}	Årlig global användning av silver	kg
Z _{vikt}	Vikt på produkt	kg

9.1.1 Källor till reningsverk

Källorna inkluderar utsläpp från varor och även några punktkällor.

Textilier

Enligt Kemikalieinspektionen (2011) tvättas 10–98% av silvret i textilier ut efter 10 tvättar. Det har därför antagits att silver i textilier tvättas ut inom ett år vilket ger ett utflyde baserat på inflödet (mellan 2 kg och 22 kg per år). Detta inkluderar antaganden som har gjorts för inflödet av silver i textilier (Bilaga 9.1.2).

Om globala siffror för silver till textilindustrin används (Mueller and Nowacks, 2008) och anpassas till Stockholmsnivå skulle inflödet vara 11 kg (Bilaga 9.1.2). De har i sin studie antagit att 5 % av detta emitteras vid tvätt vilket skulle motsvara 0,6 kg. Även Benn och Westerhoff (2008) anger att silvermängder som emitteras från klädesplagget kan variera, beroende på hur mycket silver som finns i textilen. Baserat på Kemikalieinspektionens

(2011) slutsats att upp till 98 % av silvret tvättas ur efter 10 tvättar, bör dessa 11 kg tvättas ut inom ett år. Detta ihop med ovan nämnda siffror (2 kg och 22 kg) ger ett medelvärde på 12 kg/år.

Urin och fekalier

En genomsnittlig person producerar 0,9 l urin per dag, vilket innehåller omkring 0,03 µg/l Ag (Almqvist et al., 2007). Fekalierna innehåller dessutom i genomsnitt 0,033 mg Ag per person och dag. Detta ger ett utflöde på 9,2 kg silver för 2012 (ekv. 1.1). Orsaken till dessa halter är bland annat hygienprodukter innehållande silver samt amalgam och föda. Mellan 1,5 kg (omräknat från Almqvist et al., 2007) och 6 kg (omräknat från Sörme och Lagerkvist, 2002) av dessa 9,2 kg kommer från amalgamet i tänder. Återstående mängd kommer från mat och dryck (okänd %) samt hygienprodukter (okänd %). I denna studie har medelvärdet för 1,5 kg och 6 kg (3,7 kg/år) antagits för amalgam och återstående 5,5 kg/år från föda och hygienprodukter.

$$O = C \cdot PH \cdot 365 \quad \text{ekv. 1.1}$$

En studie av Hirsch (1998) visar att grödor absorberar silver som kan finnas i gödsel som används på åkrar. Även Ratte (1999) visar att silver kan finnas i matprodukter såsom spannmål, svamp, frukt, fågel, fisk, kött och mjölk. I Sverige används silver dessutom som tillsats i mat (E-nummer 174) (Livsmedelsverket 2012). Data saknas för att räkna på hur mycket silver människan kan tänkas få i sig genom föda men det är i denna studie antaget att majoriteten av återstående silver i urin och fekalier (när mängden från amalgam räknats bort) kommer från silver i föda och hygienprodukter.

Kosmetika

Studier visar att silver i kosmetika inte penetrerar normal hud (Kokura et al., 2010; Wiechers och Musee, 2010), vilket innebär att majoriteten av silver som används i kosmetika tvättas eller nöts bort. En minoritet kan dock upptas av huden då penetrationen är beroende av hudens kvalitet samt silvrets form i kosmetikan.

En egen studie (se Bilaga 3) på foundation och puder visade på ett medelvärde på 0,36 mg/kg för foundation och 1,4 mg/kg för puder. För ögonskuggor uppmättes en silverhalter på 3,6 mg/kg (medelvärde). Medianvärdena skilde sig inte nämnvärt från medelvärdena

För beräkning av utflödet av silver från kosmetika några antaganden. Först antas att 75 % av alla kvinnor i Stockholm mellan åldrarna 18 och 64 år (anpassade till den del som är ansluten till Henriksdals reningsverk) årligen köper 1 foundation och 1 puder (antagande: ihop väger dessa i genomsnitt 120 g). Av detta finns 10 % av kosmetikan kvar i förpackningen när den slängs. Ytterligare 10 % nöts bort under dagen (i kontakt med yttre faktorer). Slutligen antas att 50 % av den kosmetika som används hamnar i avloppet. Detta ger ett utflöde på 9,6 g.

För ögonskuggor ges en mängd på 1,6 g vid samma antagande som ovan samt antagandet att samma kvinnor köper i genomsnitt 1 ögonskugga på 5 g per år. Detta ger en total silvermängd från kosmetika på 11 g/år.

$$O = PH_{K18-64} \cdot 0,75 \cdot Z_{vikt} \cdot C \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \quad \text{ekv. 1.2}$$

Global data kan användas för att beräkna ett möjligt inflöde (se 8.1.2), vilket vid samma antaganden som ovan ger ett maximalt utsläpp på 11 kg Ag/år till avloppet (ekv. 1.3). Vid denna beräkning har global data använts ihop med antagandet att 25 % av den globala tillverkningen av nanosilver går till kosmetika (Mueller och Nowack, 2008). Detta anses dock osäkert och har inte inkluderats i denna studie.

$$O = I \cdot 0,5$$

ekv 1.3

Städprodukter

Här har antagandet gjorts att städprodukter används inom ett år vilket ger ett utflöde i samma storlek som inflödet (rubrik 9.1.2). Data saknas över andel till avloppsvattnet, men Mueller och Nowack (2008) nämner att 5 % av städprodukten antas vara kvar i förpackningen när den slängs och av återstående 95 % går 85 % till avloppet. Detta skulle ge ett möjligt utflöde på 13 kg. Då det inte framgår vilken slags produkter som innehåller silver eller hur stor skillnaden kan vara mellan olika länder anses denna mängd för hög för Sverige. Antagandet har därför gjorts att omkring 25 % av städprodukterna kan innehålla silver som emitteras till avloppet, vilket ger ett utflöde på 4 kg Ag/år.

Fotografi

Under 2010 var inflödet av silver för fotografiindustrin maximalt 55 kg (rubrik 9.1.2). För att bedöma hur vanligt det idag är med kemisk framställning av bilder, så kallad analog fotografi, samt hur stor kunskap hobbyfotografer kunde tänkas ha om kemiska ämnen tillfrågades personer inom fotobranschen, vilket inkluderade en redaktör för en fototidning, fotografer och fotoklubbar. Generellt sätt tyckte de att den analoga fotografins minskat och användningen är låg i Sverige. Intresset håller dock på att öka, men den analoga tekniken blandas då med en digital teknik istället för att använda mörkrum. En delvis digital framkallning innebär en mindre mängd använd silver jämfört med framkallning i mörkrum. Fotoklubben hänvisade till att omkring 0,02 % av deras medlemmar använder analog teknik varav 40 % av dessa använde mörkrum. Det skulle motsvara åtminstone 130 respektive 50 personer i Stockholm. Fotoklubben är dock lokaliserad i en mindre stad än Stockholm och enligt en av fotograferna är analog fotografering och mörkrumsarbete vanligare i större städer. Fotograferna som tillfrågats var överens om att det finns ett hundratal eller till och med tusentals hobbyfotografer i Sverige som använder analog framkallning. Möjligtvis finns det ett hundratal i Stockholm. I denna studie har det därför antagits att det finns 500 hobbyfotografer i Stockholm, varav omkring 150–200 använder mörkrum. Enligt Silverinstitutet (2011) räcker 28 g silver till att framkalla cirka 5 000 färgbilder. Om det antas att dessa 150–200 användare i genomsnitt framkallar mellan 100 och 1 000 fotografier per person och år ger det en silvermängd på 420 g till 1,1 kg silver per år. De tillfrågade var överens om att miljömedvetenheten hos användarna är hög och majoriteten av silvret som används samlas ihop och lämnas in till miljöstationer eller fotolabb. En minimal mängd silver kan däremot släppas ut vid rengöring av utrustningen, men denna mängd uppskattas vara väldigt låg. I denna studie har

därför 10 % används, vilket innebär att 42–110 g silver årligen kan släppas ut från hobbyfotografer i Stockholm. Det ger ett medelvärde på 77 g/år.

Enligt Kotsch (2013) kan det idag finnas fotolabb i Stockholm som ihop står för maximalt 180 g/år silver.

Färger

Det är svårt att beräkna ett eventuellt utflöde av silver från färgprodukter, då det saknas data om användningen av färg i badrum och våtutrymmen som kan tänkas emittera silver till avloppet. Silver i färg som används utomhus hamnar vanligtvis i mark- eller dagvattnet, vilket diskuteras nedan. Beckman (2013) har genom uppskattningar och antagningar beräknat ett möjligt utflöde på 0,5 kg/år till Henriksdals reningsverk.

Smycken och silverbestick

Silver från smycken till reningsverk emitteras bland annat när man tvättar händerna och duschar. Data från en studie av Nordén et al. (2011), omräknat till Stockholm, visade att omkring 28 g silver (vid antagandet att alla invånare duschar en gång om dagen) årligen kan släppas ut (ekv. 1.4). Samma studie, baserat på de maximala värdena som nämnts, visar att 307 g silver årligen kan släppas ut från rengöring av silverbestick (ekv. 1.4). Detta ger ett totalt utsläpp på 335 g för 2012.

$$O = W_{Sverige} \cdot PH \quad \text{ekv. 1.4}$$

Plast

Enligt Beckman (2013) skulle silver i plast bidra med 0,3 kg/år av uppmätt mängd Ag i Henriksdals reningsverk. Detta är beräknat baserat på data från Mueller och Nowack (2008).

Amalgam (Tandborstning)

Karlsson (2012) uppskattar att amalgamfyllningar kan emittera 0,07 µg Ag/tandborstning. Om alla människor (jämför Tabell 9-4) som har amalgamfyllningar borstar tänderna i genomsnitt två gånger om dagen innebär det att 27 g Ag årligen emitteras från hushåll vid tandborstning (ekv. 1.5).

$$O = 2(W_{Stockholm} \cdot C \cdot 365) \quad \text{ekv. 1.5}$$

Fordon (tvättar)

Enligt beräkningar kan biltvättar inom Stockholm stå för mellan 2 och 6 kg av inkommande silver till Henriksdals reningsverk (bilaga 9.2). Detta är beräknat utifrån hur många biltvättar som görs årligen, på vilka slags anläggningar samt medelhalt silver i utgående vatten. Medelvärdet har använts för silverinnehåll (4 kg). Om medianvärdet istället hade använts skulle utflödet vara 0 kg Ag, vilket verkar osannolikt.

Sjukvård

Silverinnehållande produkter anses användas inom ett år och utflödet kan därför vara lika stort som inflödet (Bilaga 9.2), 3,5 kg/år. Majoriteten av detta anses dock gå till avfall. Denna siffra är med största sannolikhet mindre för 2012 än tidigare år, bland annat på grund av att användningen av traditionella röntgenmaskiner har minskat i Sverige och idag sker röntgen

mestadels digital. Studier från Sverige visar att utsläpp från sjukhus till avlopp innehåller låga halter silver (Svenson et al., 2008), vilket i Stockholm skulle motsvara 33 g av inkommande silver till Henriksdals reningsverk (ekv. 1.6). Dessa 33 g är inkluderad i det beräknade utflödet på 3,5 kg. En viss del av silvret som används inom sjukvården hamnar i urin och fekalier, vilket diskuteras ovan.

$$O = M_{ur} \cdot C \quad \text{ekv. 1.6}$$

Amalgam (Tandläkare)

Majoriteten av silverutsläpp från amalgam som når avloppsreningsverket är inkluderat i urin och fekalier. Det emitteras dock fortfarande kvicksilver från tandvårdskliniker i Stockholm och baserat på halt kvicksilver och mängd vatten från dessa kan omkring 220 g Ag årligen komma från tandvårdskliniker (ekv. 1.7). Mängd vatten är beräknad utifrån l per tandläkarstol och antal tandläkarstolar i Stockholm. I denna studie antas att den genomsnittliga mängden är dubbelt så hög än vad som beräknats på grund av förekommande skötselproblem av avskiljarna. Det ger ett utflöde på 440 g/år.

$$O = M_{ur} \cdot C \quad \text{ekv. 1.7}$$

Tvätterier

Analyser av utgående vatten från tvätterier i Stockholm, anslutna till Henriksdals reningsverk visar ett möjligt utflöde på totalt 70 g Ag/år från samtliga anslutna tvätterier (ekv. 1.8).

$$O = M_{ur} \cdot C \quad \text{ekv. 1.8}$$

Dagvatten och dricksvatten

I dagvatten ligger silverhalten under detektionsgränsen (0,5 µg Ag/l) (Lagerkvist, 2013) vilket skulle innebära maximalt 5,2 kg Ag som kan komma från dagvattnet (ekv. 1.9). Detta är baserat på att 10 % av det inkomna vattnet till Henriksdals reningsverk kommer från dagvatten (Lagerkvist, 2013). Det finns indikation på att silver i utgående vatten hos detta reningsverk ligger långt under detektionsgränsen och minst 95 % hamnar i slammet, varför det i denna studie har beräknats att Ag i dagvatten motsvarar endast 10 % av ovan nämnda siffra. Detta är dessutom baserat på den höga osäkerhet som är förknippad med att analysera silver i avloppsvatten. Värdet som använts i denna studie är därför 0,5 kg/år (dagvatten).

$$O = DG \cdot M \cdot M_H \quad \text{ekv. 1.9}$$

Samma beräkning kan användas för silver i dricksvatten. Mätningar i vattendrag i närheten av Mälaren, var dricksvattnet i Stockholm tas, visar uppmätta silverkoncentrationer på 4–9 ng/l, med ett medelvärde på 5,7 ng/l. Detta ger en total mängd på 0,3 kg/år, vilket är baserat på den mängd spillvatten som årligen kommer in till Henriksdals reningsverk (ekv. 1.10) (Lagerkvist, 2013). Dessa mätningar är dock gjorda närmare staden än där dricksvattnet tas och koncentrationen i Mälaren kan därför vara lägre.

$$O = C \cdot M \cdot M_H \quad \text{ekv. 1.10}$$

En återvinningsstation i Stockholm släpper ifrån sig renat lakvatten till avloppsvattnet som hamnar i Henriksdals reningsverk. Silver ligger under detektionsgränsen i detta vatten, vilket innebär maximalt 125 g av inkommande silver (ekv. 1.11).

$$O = DG \cdot M_{ut} \quad \text{ekv. 1.11}$$

Trafik

Silver har hittats i vägdamm med halter mellan $0,9 \pm 0,3 \mu\text{g Ag/g}$ (Zimmerman et al., 2002). Enligt samma studie är det oklart varifrån dessa halter kommer, men en annan studie visar att bildäck kan vara en orsak till silverutsläpp (Ntziachristos och Boultner, 2009). På grund av databrist har inga beräkningar gjorts.

Avfallskvarnar

Silver finns även närvarande i avfallskvarnar, dock har undersökningar visat att de inte bidrar till en förhöjd silverhalt i avloppsvatten (Stockholm Vatten, 2013b).

Fällningskemikalier

Fällningskemikalier som används på reningsverken innehåller små mängder silver. Hos Henriksdals reningsverk kan mindre än 2 kg av silvret i slammet förklaras av fällningskemikalier (Lagerkvist, 2013). I denna studie har 2 kg/år används som ett värsta fall scenario för detta flöde.

Andra punktkällor

Fotoframkallningsföretagen i Stockholm stod under 2010 för omkring 3 kg silver som släpptes ut till avloppsvattnet. Dessa företag har dock lagts ner sedan dess och kan därför inte förklara något av silvret i reningsverket under 2012 (Kotsch, 2013).

9.1.2 Inflöde till Stockholms teknosfär

Det årliga inflödet av silver till Stockholms teknosfär har uppskattats och nedan redovisas använda beräkningar.

Textilier

En studie gjord av Kemikalieinspektionen (2011) visade att 16 av 30 tvättade klädesplagg innehöll silver, varav alla analyserade textilier marknadsförts som "anti-odour", motverkar lukt osv. För att beräkna ett möjligt inflöde av silver gjordes följande antaganden: 75 % av såld vikt av tränings- och badkläder är träningskläder och hälften av dessa marknadsförts som "anti-odour", "motverkar lukt" osv. Baserat på dessa antaganden och det uppskattade inflödet av tränings- och badkläder (Carlsson et al., 2011), är det årliga inflödet av silver i kläder mellan 1,5 kg (median) och 1,8 kg (medelvärde) (ekv. 1.12).

Liknande antaganden gjordes för strumpor, där hälften av såld mängd underkläder och strumpor antogs vara strumpor. Baserat på andel analyserade strumpor som innehöll silver (Kemikalieinspektionen, 2011) och andel som marknadsfördes som antibakteriella är inflödet mellan 0,7 kg (median) och 20 kg (medelvärde) (ekv. 1.12). På grund av stora variationer

i silverinnehåll mellan olika strumpor, ökade osäkerheten för detta flöde. Även andra studier visade liknande stora variationer mellan olika strumpor (Benn och Westerhoff, 2008).

$$I = P \cdot D \cdot 0,5 \cdot F \cdot C \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 1.12}$$

Inflödet av silver från textilier skulle därför vara mellan 2,2 kg och 22 kg beroende på beräkning. Detta stöds av en annan beräkning, baserat på den årliga användningen av nanosilver till textilier, som visar ett årligt inflöde på 11 kg silver från textilier (ekv. 1.13) (Mueller och Nowack, 2008). Det är då antaget att den svenska användningen är dubbelt så stor jämfört med det globala genomsnittet.

$$I = 2(W_{\text{nano}} \cdot C_{\text{nano}} \cdot PP_1 \cdot PP_2) \quad \text{ekv. 1.13}$$

Kosmetika

Enligt en studie av Mueller och Nowack (2010) går omkring 25 % av den globala nanosilvertillverkningen till kosmetika, vilket skulle innebära 27 kg till Stockholm under 2012 (ekv. 1.14). Det är då antaget att den svenska användningen av kosmetika är dubbelt så stor som det globala genomsnittet.

$$I = 2(W_{\text{nano}} \cdot C_{\text{nano}} \cdot PP_1 \cdot PP_2) \quad \text{ekv. 1.14}$$

Om statistik för såld kosmetika i Sverige användes ihop med uppmätta värden (Bilaga 3) ges ett inflöde på mellan 20 och 35 g Ag per år till Stockholm (ekv. 1.15). Spännvidden i beräknat inflöde är alltså mycket stor.

$$I = W_{\text{Sverige}} \cdot C \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 1.15}$$

Silver kan förekomma i hygienprodukter såsom hudlotion men detta har inkluderat i silverhalterna som uppmäts i urin och fekalier. Enligt Läke-medelsverkets författningssamling (LVFS 2009:14) får silver användas i produkter för färgning av ögonfransar och ögonbryn, vilket kan bidra till inflödet av silver till samhället. Denna mängd bör dock vara minimal då endast minimala mängder färg används vid färgning, det inte görs ofta samt att mängden silver i färgen är minimal, om närvarande alls.

Städprodukter

Mueller och Nowack (2008) nämner att uppskattningsvis 15 % av världsproduktionen av nanosilver används i städprodukter och rengöringsmedel, vilket innebär att 16 kg Ag årligen förs in till Stockholm (ekv. 1.16). Det är då antaget att Sverige använder dubbelt så mycket städprodukter jämfört med det globala medelvärdet.

$$I = 2(W_{\text{nano}} \cdot C_{\text{nano}} \cdot PP_1 \cdot PP_2) \quad \text{ekv. 1.16}$$

Silver kan finnas i dammsugarpåsar med detta hamnar i avfall ihop med påsarna.

Sjukvård

Utifrån den globala användningen av silver inom det medicinska området, var inflödet till Stockholm 3,5 kg under 2011 (ekv. 1.17). Det har då antagits att den svenska användningen är dubbelt så stor som det globala genomsnittet.

$$I = 2(W_{\text{Världen}} \cdot PP_1 \cdot PP_2) \quad \text{ekv. 1.17}$$

Silver har påträffats i plast som används för katetrar (Samual och Guggenbichler, 2004) och förekommer även i bandage för brännskadade (Silver et al., 2006). Plåster innehållande silver har inte sålts i Sverige sedan 2006. Enligt Livsmedelsverket (2011a) får silverinnehållande hälsotillskott inte säljas i Sverige och enligt Läkemedelsupplysningen (2012) används Ag inte heller i någon medicin idag, förutom en penna som innehåller silverniträt. Mängden sålda pennor är dock liten.

Fotografi

Användningen av silver i fotografiindustrin har minskat kraftigt, men silver används fortfarande av privata fotoframkallare. Enligt Kemikalieinspektionen användes omkring 680 kg silverniträt i Sverige under 2010 (Diurlin, 2013). Silverniträt används bland annat i fotoframkallning och om hela denna mängd skulle gå till fotoindustrin (företag såsom hobbyfotografer) innebär det att inflödet är maximalt 55 kg Ag till Stockholm (ekv. 1.18).

$$I = W_{Sverige} \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 1.18}$$

Färger

Under 2011 såldes nästan 116 000–260 000 ton färg varav omkring 57 000–88 000 ton gick till färghandeln (Beckman, 2013). Användningen av silver i färger är idag relativt liten. Beckmans studie visar på ett möjligt årligt inflöde på 0,3–1,5 kg Ag till Stockholm.

Smycken och silverbestick

Under 2012 var den globala efterfrågan på silversmycken nästan 6 000 ton och på silverbestick 1 400 ton (GFMS, 2013). Rent silver är ovanligt i smycken och silverbestick och vanligtvis är de legerade med koppar. Sterling silver består av 92,5 % silver (Enghag, 2004) och silverbestick runt 83 % silver (Silverklubben, n.d.). Det skulle ge ett årligt inflöde till Stockholm på 1,1 ton silver för smycken samt 250 kg för silverbestick (ekv. 1.19).

$$I = 2(PP_1 \cdot W_{Världen} \cdot PP_2 \cdot C) \quad \text{ekv. 1.19}$$

Plast

Enligt Mueller och Nowak (2008) kan 10 % av den globala tillverkningen av nanosilver användas i plast, vilket skulle innebära 11 kg till Stockholm. Skärbräddor kan innehålla silver (Adolfsson-Erici och Allmyr, 2007), vilket motsvarar ca 120 g silver (Beckman, 2013). Andra plastprodukter som kan innehålla silver är koppar, skålar, leksaker, hygieniska produkter, tandbors-tar, plastflaskor samt kylskåp. Det saknas dock studier som visar om dessa innehåller silver och i så fall i vilka mängder.

Amalgam

Amalgam har varit förbjudet i Sverige sedan 2009 (Kemikalieinspektionen, 2011) och inflödet av silver i amalgam är därför 0. Andelen använda guld-fyllningar har minskat och används idag minimalt (Bohman, 2012). Silver kan förekomma i guld-fyllningar men halten är då låg och inflödet av detta är därför också närmare 0.

Livsmedel och livsmedelsförpackningar

Silver har hittats i livsmedel (Hirsch, 1998; Ratte, 1999), men mängden silver från livsmedel är här inkluderat i flödet för urin och fekalier. Det är i Sverige förbjudet att använda silver i livsmedelsförpackningar (Livsmedelsverket, 2011b).

9.1.3 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)

Den upplagrade mängden av silver i Stockholms teknosfär (i olika varor och produkter) har uppskattats och beräkningar redovisas nedan. Fokus har varit på produkter som kan bidra till uppmätta halter silver i reningsverket. Vissa varor används inom ett år efter inköp och för dessa har ingen stock beräknas då de inte har möjlighet att hinna lagras i samhället.

Textilier

Enligt Kemikalieinspektionen (2011) tvättas 10–98% av silvret ur kläderna inom tio tvättar, vilket innebär att majoriteten av silver i textilier tvättas ut inom ett år och därför inte upplagras i samhället.

Kosmetika

I denna studie har det antagits att majoriteten av kosmetika som hamnar i avloppsvattnet används inom ett år. De resterande små mängderna som kan finnas upplagrat hamnar i avfall och är därför inte relevant för denna studie. Om exempelvis 10 % av inflödet är upplagrat i Stockholm motsvarar det närmare 3 kg silver (ekv. 1.20).

$$S = I \cdot 0,1 \quad \text{ekv. 1.20}$$

Städprodukter

Städprodukter används huvudsakligen inom ett år och ingen stock har därför beräknas.

Fordon

Upplagrad mängd har inte beräknats på grund av databrist.

Sjukvård

Silver som används inom det medicinska fältet har antagits användas inom ett år.

Fotografi

Sista förbrukningsdag för silvernitrat är 18 månader efter tillverkningsdatumet. Huvuddelen av silvernitratflödet används troligen inom ett år. En maximal mängd på hälften av inflödet uppskattas grovt vara upplagrat, vilket även får inkludera sparad silvernitrat med utgången datum. Det ger en stock på 27 kg silver (ekv. 1.21).

$$S = I \cdot 0,5 \quad \text{ekv. 1.21}$$

Färger

Ommålning av exempelvis en vägg bedöms ske var 5–10:e år, vilket ger en grov uppskattning på 97–194 kg silver upplagrat i Stockholm (Beckman, 2013). Detta gäller då främst färg som sitter på väggar och andra ytor.

Smycken och silverbestick

Baserat på inflödet av silver i smycken och bestick och uppskattad livslängd (10–50 år) beräknas stocken vara 14 ton (livslängd 10 år), 43 ton (livslängd 30 år) eller till och med 71 ton (livslängd 50 år) i Stockholm under 2012 (ekv. 1.22). Majoriteten av detta hamnar troligen i avfall eller återvinning och stocken är därför inte relevant för denna studie.

$$S = I \cdot T \quad \text{ekv. 1.22}$$

Plast

Enligt Beckman (2013) skulle omkring 25–50 kg silver vara upplagrat i Stockholm. Det har då antagits att silver i plast har en livslängd på 5–10 år.

Amalgam

Enligt en studie av Sörme (2006) fanns under 2001 uppskattningsvis 4,3 ton kvicksilver i amalgam i Stockholmsbarnas tänder. Den vanligaste sammansättningen av amalgam består av 52 % kvicksilver och 32 % silver (Enghag, 2004). I denna studie har antagandet gjorts att amalgam innehåller 50 % kvicksilver och 30 % silver.

Amalgam förbjöds i Sverige 2009 och användningen hade börjat minska redan innan detta då det exempelvis varit förbjudet att använda amalgam på barn. Enligt Sörme (2006) har användningen av amalgam minskat och de flesta svenskarna födda på 1980-talet eller senare har inte amalgam i sina tänder.

Tabell 9-2 Silver i amalgamfyllningar, Stockholms befolkning, utifrån befolkningens ålder år 2001 (Sörme, 2006) och år 2012

Ålder 2001	Ålder 2012	Antal människor 2012 (SCB)	Mängd silver i tänder (g/person)	Mängd silver (kg)
0–14	0–26	244 850	0,00	0
15–24	27–36	146 486	3,00	490
25–39	37–51	167 082	3,00	560
40–44	52–56	45 810	6,00	310
45–49	57–61	42 153	6,00	290
50–54	62–66	39 462	6,00	270
55–59	67–71	32 444	7,80	280
60–64	72–76	20 372	7,20	160
65–69	77–81	15 709	7,20	130
70–74	82–86	13 508	4,80	70
75–84	87–96	13 828	3,60	60
85–94	97–	896	1,80	1,8
95–				
Totalt		782 600		2 300

Sörmes (2006) studie uppskattade antalet människor i olika åldersgrupper som kunde ha amalgam i deras tänder under år 2001 samt hur mycket amalgam varje person i genomsnitt i så fall hade i sina tänder. Dessa siffror anpassades sedan i denna studie till silverinnehåll under år 2012 (Tabell 9-2). Enligt Sörme (2006) har 25 % av amalgamet i svenskarnas tänder redan tagits ut innan de dör eftersom amalgam endast håller i 40 år. Sörme använde därför siffran 20 % för att anpassa siffrorna från 1994 till 2001. Denna siffra har ökat och i denna studie har därför ytterligare 25 % antagits för 2012. Sörme (2006) har i sin studie använt Stockholms befolkning, men

i denna studie har istället siffrorna anpassats till antal personer anslutna till Henriksdals reningsverk. Den upplagrade mängden silver är då 1 700 kg för Stockholm 2012, vilket motsvarar 2 300 kg minus 25 %.

Enligt Lohm et al. (1997) uppskattas mängden kvicksilver i amalgam till 4 900 kg under 1997, vilket skulle motsvara omkring 2 900 kg silver. Under 2001 var denna siffra 2 300 kg Ag och under 2012 1 700 kg. Det innebär en minskning på 22 respektive 25 %, vilket innebär en årlig minskning på i genomsnitt 5,4 % innan 2001 och 2,3 % efter 2001.

Pooler och jacuzzis

Silver används i poolrengöring runtom i världen, enligt tillverkarnas hemsidor (internetsökning), men ingen data har hittats som visar att det förekommer i Sverige.

9.1.4 Parametrar för silver

Nedan presenteras vilka värden som använts för beräkningar (Tabell 9-3–9-6). Data har tagits från den källa som nämns och sedan räknats om för denna studie.

Tabell 9-3 Allmänna parametrar.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande
P (st)	9 552 000	SCB, 2013 (Bilaga 5)
PP ₁ (%)	0,0014	Beräknad
PP ₂ (%)	0,08	Beräknad
PH (st)	767 650	Stockholm vatten, 2013a

Tabell 9-4 Parametrar som har använts vid beräkning av för silver källor till reningsverk. A = Antagande

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Urin och fekalier		
C (µg/person/dag) urin	0,0027	Almqvist et al., 2007
C (mg/person/dag) fekalier	0,033	Almqvist et al., 2007
Kosmetika		
PH _{K 18-64} (st)	298 079	SCB, 2013 (Bilaga 5)
Z _{vikt} foundation och puder	0,12	A: antagen vikt på genomsnittlig förpackning
Z _{vikt} ögonskuggor	0,05	A: antagen vikt på genomsnittlig förpackning
C (mg/kg) foundation	0,36	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) puder	1,4	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) ögonskuggor	3,6	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
Smycken och silverbestick		
W _{Sverige} (mg/person/år) smycken	0,036	Nordén et al., 2011
W _{Sverige} (mg/person/år) silverbestick	0,4	Nordén et al., 2011
Amalgam (Tandborstning)		
W _{Stockholm} (st)	537 750	Egna beräkningar (Tabell 9-2)
C (µg/l) hushåll	0,07	Karlsson, 2012
Sjukvård		
Mut (l/år)	465 679 000	Kotsch, 2013
C (ng/l)	71	Svensson et al., 2008
Amalgam (Tandläkare)		
M _{ut} (l/år)	5 201 250	Lagerkvist, 2013
C (µg/l)	42,4	Enghag, 2004

Tvätterier		
M _{ut} (l/år)	140 000 000	Kotsch, 2013
C (µg/l)	0,5	Kotsch, 2013
Dagvatten/Dricksvatten		
DG (µg/l)	0,5	Lagerkvist, 2013
C (ng/l)	5,7	IVL, 2007
M (1000 l/år)	104 000 000	Stockholm Vatten, 2013a
M _H (%) dagvatten	0,1	Lagerkvist, 2013
M _H (%) dricksvatten	0,54	Lagerkvist, 2013
M _{ut} (l/år)	250 000 000	Stockholm vatten, 2013a

Tabell 9-5 Parametrar som har använts vid beräkning av Inflöde till Stockholms teknofär av silver. A = Antagande.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Textilier		
<i>Träningskläder</i>		
D (kg)	0,375	Carlsson et al., 2011 A1: 50 % av träningskläderna såldes som anti odör A2: 75 % av kategorin träningskläder och badkläder i rapporten består av träningskläder
F (%)	0,625	Kemikalieinspektionen, 2011
C (g/kg) medelvärde	0,02	Kemikalieinspektionen, 2011 A: innehållet är endast för silverinnehållande kläder
C (g/kg) medianvärde	0,017	Kemikalieinspektionen, 2011 A: innehållet är endast för silverinnehållande kläder
<i>Strumpor</i>		
D (kg)	0,35	Carlsson et al., 2011 A1: hälften av strumporna såldes som anti odör A2: 35 % av kategorin underkläder, strumpor och nattkläder består av strumpor
F (%)	0,33	Kemikalieinspektionen, 2011
C (g/kg) medelvärde	0,46	Kemikalieinspektionen, 2011 A: innehållet är endast för silverinnehållande kläder
C (g/kg) medianvärde	0,015	Kemikalieinspektionen, 2011 A: innehållet är endast för silverinnehållande kläder
Metod 2		
W _{nano} (kg)	500 000	Mueller och Nowack, 2008
C _{nano} (%)	0,1	Mueller och Nowack, 2008 A: svensk konsumtion är dubbelt så stor som det världsliga genomsnittet
Kosmetika		
W _{nano} (kg)	500 000	Mueller och Nowack, 2008
C _{nano} (%)	0,25	Mueller och Nowack, 2008
W _{Sverige} (kg) Foundation	1 049 400	SCB, 2011 (Bilaga 5) A: 20 % av varugrupp består av foundation
W _{Sverige} (kg) Puder	42 500	SCB, 2011 (KN 33049100) A: 50 % av varugrupp består av puder
C (g) Foundation medelvärde	0,36	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (g) Puder medelvärde	1,4	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
Städprodukter		
W _{nano} (kg)	500 000	Mueller och Nowack, 2008
C _{nano} (%)	0,15	Mueller och Nowack, 2008 A: svensk konsumtion är dubbelt så stor som det världsliga genomsnittet
Sjukvård		
W _{Världen} (kg)	16 000	GFMS, 2011a A: svensk konsumtion är dubbelt så stor som det världsliga genomsnittet

Fotografi		
W_{Sverige} (kg)	680	Diurlin, 2013
Smycken och silverbestick		
$W_{\text{Världen}}$ (kg) Smycken	5 772 716	GFMS, 2013
$W_{\text{Världen}}$ (kg) Silverbestick	1 396 524	GFMS, 2013
C (%) Smycken	0,925	Enghag, 2004; Silverklubben, u.d. A: svensk konsumtion är dubbelt så stor som det världsliga genomsnittet
C (%) Silverbestick	0,83	Enghag, 2004; Silverklubben, u.d. A: svensk konsumtion är dubbelt så stor som det världsliga genomsnittet

Tabell 9-6 Parametrar som har använts vid beräkning av Upplagrad mängd i Stockholms teknofär av silver.
A = Antagande

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Kosmetika		
I (kg)	27	Beräknad (genomsnitt)
Fotografi		
I (kg)	55	Beräknad
Smycken och silverbestick		
I (kg) Smycken	1 167	GFMS, 2013
I (kg) Silverbestick	253	GFMS, 2013

9.2 Bilaga 2: Vismut – Beskrivning och beräkningar

För beräkningarna gjorda i denna bilaga har nedanstående parametrar använts (Tabell 9-7). Värden som använts för de olika parametrarna presenteras nedan under rubrik 9.2.4.

Tabell 9-7 Parametrar som använts vid beräkningar.

Förkortning	Förklaring	Enhet
C	Koncentration Bi i vara/källa	% eller uppmätt enhet
C_w	Del vismut i vismutvanadat	%
DG	Detektionsgräns	ug/l
I	Inflöde Bi	Kg eller g
M	Uppmätt volym inkommande vatten till Henriksdals reningsverk	1 000 l/år
M_H	Del av avloppsvatten i Stockholm som går till Henriksdals reningsverk	%
M_{ut}	Utgående vatten från anläggning	l/år
O	Utföde Bi	kg
PP_2	Befolkning anslutna till Henriksdal / befolkning Sverige	%
PH	Personer anslutna till Henriksdals reningsverk	st
$PH_{K 18-64}$	Anslutna kvinnor mellan 18 och 64 år anslutna till Henriksdals reningsverk	st
S	Stock Bi	kg
T	Användningstid	år eller %
Z_{vikt}	Produktens vikt	kg
$W_{\text{Stockholm}}$	Användning/nyttillkommen användning i Stockholm 2012	st
W_{Sverige}	Användning i Sverige 2012	st, kg eller per person

9.2.1 Källor till reningsverk

Kosmetika

Kosmetika kan tvättas bort och hamna i avloppsvattnet och det kan tas bort med bomullstuss och hamna bland avfall. Beroende på beräkningar ges stora variationer i utflödet (ekv. 2.1).

$$O = PH_{K18-64} \cdot 0,75 \cdot Z_{vikt} \cdot C \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \quad \text{ekv. 2.1}$$

En egen studie (se Bilaga 3) visade att foundation och puder innehåller vismut i varierande mängder med ett gemensamt medianvärde på 49 mg/kg och ett gemensamt medelvärde på 44 000 mg/kg. Följande antaganden gäller (ekv. 2.1): 75 % av kvinnorna mellan 18 och 64 i Stockholm köper i genomsnitt 1 foundation och 1 puder om året (antagande att dessa ihop väger i genomsnitt 120 g och innehåller ovan nämnda genomsnittliga koncentrationer silver); 10 % av kosmetikan finns kvar i förpackningen när den slängs; och 10 % nöts bort under dagen (i kontakt med yttre faktorer). Ett sista antagande görs att av återstående mängd kosmetika tvättas 50 % bort under rinnande vatten och 50 % med bomullstuss. Dessa ger ett utflöde på 1,3 kg (median) till 1,2 ton (medelvärde) (ekv. 2.1).

För att hantera problematiken med extremvärden och den stora skillnaden mellan medelvärdes- och medianberäkning används en gruppering av de analyserade proverna. Detta ger en möjlighet att vikta de olika grupperna för att på bästa sätt belysa deras representativitet. Av 30 analyserade prover hade 4 st mycket högt innehåll Bi (>100 000 mg/kg), 6 st högt innehåll (9 000–100 000 mg/kg) och de övriga 20 lågt innehåll (<100 mg/kg). Detta innebär att de olika grupperna står för 13 %, 20 % och 67 % av de olika proverna (Tabell 9-8).

I den egna studien gjordes en bedömning av hur representativt för den svenska marknaden urvalet av analyserade produkter är (se Bilaga 3). Utifrån denna bedömning uppskattas de olika grupperna motsvara 18 %, 15 % och 68 % av marknaden utifrån Tabell 9-19 och 9-20 (Tabell 9-8). Detta beräknades utifrån hur stor del av de analyserade märkena som hamnade inom de olika grupperna. Exempelvis analyserades två stycken bareMinerals foundations, vilka uppskattas representera 20 % av den svenska marknaden för foundations. Ett av dessa prover innehöll mycket höga halter Bi, vilket innebär att hälften av dessa 20 %, med andra ord 10 %, hamnar i gruppen för högt innehåll. Samma beräkning gjordes sedan för puder och dessa två adderades ihop och medelvärdet mellan dessa två grupper användes för beräkning av den totala uppskattade marknaden.

Tabell 9-8 Gruppindelning efter vismuthalt för foundation och puder samt viktningsfaktorer för marknadsandel och del av totalt antal analyserade prover.

Grupp efter vismuthalt (mg/kg)	Medelvärde i grupp (mg/kg)	Andel av totalt analyserade prover (%)	Marknadsandel (%)
>100 000	277 500	13	18
9 000 – 100 000	32 250	20	15
<100	44,4	67	68

Med hjälp av dessa viktningsfaktorer beräknas ett medelvärde för vismuthalt i foundation och puder enligt:

$$\text{Medelvärde} = (277\,500 \cdot 0,13 \cdot 0,18 + 32\,250 \cdot 0,2 \cdot 0,15 + 44,4 \cdot 0,67 \cdot 0,68) / 3$$

Beräkningen gjordes sedan enligt ekv 2.1 där detta medelvärde motsvarar C. Resultatet blir då 27,16 kg för 2012.

En egen analys av ögonskugga visade ett medelvärde på 1 100 mg/kg och ett medianvärde på 41 mg/kg. Då det endast var ett extremvärde har medianen använts. Vid samma antaganden som ovan ges ett utflöde på siffran på 19 g från ögonskuggor (ekv. 2.1). Ihop med ovan nämna mängd för foundation och puder blir utflödet totalt 27,17 kg/år.

En studie av Karlsson (2012) visar att förutom att vismut förekommer i puder, foundation och ögonskugga kan även små mängder hittas i rouge (0,04 µg/g) och läppstift (0,1–0,77 µg/g). Enligt Stockholm Vatten (2010) kan mängden vismut variera kraftigt mellan olika produkter med halter såsom 0,3 mg/g (läppglans), 15–15 mg/g (high tech lighter), 87 mg/g (rouge), 57 mg/g (concealer) samt 320 mg/g (veil). Karlsson (2012) uppskattar att omkring 50 % av inkommande vismut till Slottshagens reningsverk i Norrköping kan komma från kosmetika. Wittgren och Pettersson (2013) uppskattar denna siffra till 40 %. Detta skulle innebära en uppskattad mängd på 57 kg/år respektive 45 kg/år till Henriksdals reningsverk.

Plast

Enligt Beckman (2013) kan mellan 5 kg och 24 kg vismut emitteras från plastprodukter och hamna i avloppsvattnet i Stockholm per år. I denna studie har ett medelvärde på 14,5 kg/år använts.

Färg

Utflödet av vismut från färg kan beräknas på olika sätt. Ett sätt är att utifrån inflödet (2,4–3,2 ton) anta att 0,1 % av denna färg tvättas ut penseln av privatpersoner efter att de målat. Detta ger ett möjligt utflöde på 2,8 kg/år (ekv. 2.2).

$$O = I \cdot 0,1 \quad \text{ekv. 2.2}$$

En annan beräkning kan göras utifrån att omkring 88 000 ton färg årligen går till färghandeln (Beckman, 2013). Totalt säljs 2,4–3,2 ton Bi till färghandeln vilket ger ett genomsnittligt vismutinnehåll på 0,03–0,05 % i den sålda färgen. 1 liter färg räcker till omkring 6–8 kvadratmeter (internetsökning). I denna studie har antagandet gjorts att de anslutna till Henriksdals reningsverk i genomsnitt målar om ett lagom stort rum (3x4m med 2,4 i takhöjd) var 6:e år till 12:e år vilket ger det en yta på 34–68 m², med andra ord nästan 6–12 l färg var 6:e till 12:e år. Det innebär att i Stockholm används årligen 1–2 l färg per person, vilket ger 26–70 kg vismut (antagande att färg har en densitet på 1). Baserat på detta och antagandet att mindre än 0,1 % av färgen försvinner ut i avloppet när penseln tvättas ger det ett möjligt utflöde på 0,26–0,7 kg/år (ekv. 2.3).

$$O = W_{\text{Sverige}} \cdot C \cdot PH \cdot 0,001 \quad \text{ekv. 2.3}$$

Dessa tre värden ger ett medelvärde på 1,3 kg/år. Det har i denna studie antagits att slitage av målade väggar ej släpper ifrån sig någon vismut till avloppsnätet samt att majoriteten av yrkesmålare ej tvättar sina penslar i vatten som leder till avloppet.

Urin och fekalier

Vismut har identifierats i urin och fekalier, men dessa halter ligger under detektionsgränsen och kan förklara maximalt omkring 0,2 g/år av det vismut som uppmätts i Henriksdals reningsverk (ekv. 2.4). Denna källa, och eventuella vismutinnehållande produkter som används och tas upp av kroppen, betraktas därför som försumbar.

$$O = C \cdot PH \cdot 365 \quad \text{ekv. 2.4}$$

Fordon (tvättar)

Vismut mäts just nu inte normalt i utgående vatten från biltvättar i Sverige, även om vissa kontinuerliga undersökningar görs. En studie visar även att vismut finns i utgående vatten från fordonstvättar, även om det anses vara en liten källa (Karlsson, 2012). Enligt studien skulle biltvättar förklara omkring 1 % av inkommande vismut till ett reningsverk och egna beräkningar visar att denna siffra kan ligga på 11 kg Bi/år från biltvättar i Stockholm (Bilaga 9.4).

Tvätterier

Analys av utgående vatten från tvätterier i Stockholm, anslutna till Henriksdals reningsverk visar ett möjligt utflöde på totalt 670 g Bi/år från samtliga anslutna tvätterier (ekv. 2.5).

$$O = M_{ut} \cdot C \quad \text{ekv. 2.5}$$

Dagvatten och dricksvatten

Enligt beräkningar baserat på detektionsgränsen (<0,1 µg/l) och maximala mängder dagvatten som kommer in till Henriksdal ligger mängden vismut från dagvatten på maximalt 1 kg/år (ekv. 2.6). Stockholm vatten (2010) anger att ungefär 400 g vismut i Henriksdals reningsverk årligen kan komma från dagvatten. Källor är exempelvis fyrverkerier eller stuprör gjorda av plast. En liknande beräkning visar att maximalt 280 g – 1,1 kg vismut naturligt kan finnas i dricksvattnet (ekv. 2.6). Medelvärde 0,7 kg/år har använts i denna studie.

$$O = C \cdot M \cdot M_H \quad \text{ekv. 2.6}$$

En återvinningsstation i Stockholm släpper ifrån sig renat lakvatten till avloppsvattnet som hamnar i Henriksdals reningsverk. Vismut ligger under detektionsgränsen i detta vatten, vilket innebär maximalt 25 g/år av inkommande vismut (ekv. 2.7).

$$O = DG \cdot M_{ut} \quad \text{ekv. 2.7}$$

Trafik

Enligt Sternbeck et al. (1999) kan 0,061 µg Bi/fordonskilometer komma från trafiken. För 2012 ger det en emission av 26 g Bi för Stockholm, vilket är baserat på antal kilometer per invånare anslutna till Henriksdals reningsverk (ekv. 2.8).

$$O = W_{Stockholm} \cdot C \quad \text{ekv. 2.8}$$

Fällningskemikalier

Fällningskemikalier som används på reningsverken innehåller små mängder av vismut. Hos Henriksdals reningsverk kan 0,2–0,9 kg av vismuten i slammet förklaras av fällningskemikalier (Lindgren, 2009; Stockholm Vatten, 2010; Lagerkvist, 2013). I denna studie har medelvärdet mellan dessa använts vilket ger 0,6 kg.

Pyroteknik och sprängämnen

Ett inflöde av vismut på mellan 0,8 kg och 230 kg borde ge ett liknande utflöde för fyrverkerier (Bilaga 9.2.1). Det finns dock inget som tyder på att vismuthalten i dagvatten i Stockholm stad ökar under tidpunkter då fyrverkerier är vanliga, exempelvis nyår (Lagerkvist, 2012). Tvärtom visar analyser av smältvatten att halten vismut minskar, med andra ord späds ut. Det innebär att majoriteten av den vismut som finns i fyrverkeripjäser tas om hand som avfall eller hamnar på sådana ställen att det inte når dagvattenet och därför inte påverkar reningsverken.

9.2.1 Inflöde till Stockholms teknosfär

Kosmetika

I kosmetika förekommer vismut som vismutoxyklorid med numret CI77163 (Cosmeticsinfo.org, n.d). Vismutoxyklorid måste innehålla minst 98 % vismut. Det finns vanligtvis närvarande i så kallat mineralsmink men förekommer även i kosmetika såsom ögonskugga, läppstift, foundation och rouge. Metallen används istället för andra kemikalier och alkoholer som sägs kunna irritera huden. Den tillsätts till exempel för att ge en pärlemorskimrande effekt. Enligt US FDA (U.S. Food and Drug Administration) är vismutoxyklorid tillåtet att använda i hygienprodukter, men endast i små mängder så att det inte finns någon risk för människors hälsa. I Sverige faller kosmetika under Läkemedelsverket vilket innebär att producenterna inte behöver uppge hur mycket av ett ämne som en produkt innehåller (Stockholm vatten, 2010). Ämnen med halter som understiger 1 % behöver inte heller anges i ordning i innehållsförteckningen.

Under 2011 infördes omkring 5 000 ton produkter som kan klassas som hygienprodukter på den svenska marknaden. (SCB, 2011, Bilaga 5). Då dessa varukoder innehåller många hygienprodukter som inte behöver klassas som kosmetika, är det inte möjligt att uppskatta hur stor mängd kosmetika som verkligen säljs årligen i Sverige. Enligt Läkemedelsverket låg förbrukningen av kosmetika på ca 340 ton år 2002 (Stockholm vatten, 2010), men detta är en uppskattning baserat på kostnaden för kosmetika och det är därför återigen svårt att uppskatta hur denna siffra stämmer med verkligheten. Analyser av foundation och puder visade att produkterna innehåller vismut i olika mängder (Tabell 9-9 och 9-10).

Inflödet för vismut i foundation och puder kan beräknas på olika sätt. Om statistiken används ihop med uppmätta medelvärdena respektive medianvärdena kan vismutinflödet från foundation och puder variera mellan 4,6 kg (median) och 3,2 ton (medelvärde) (ekv. 2.9). Då extremvärden förekommer anses medianvärdet vara det mest korrekta, men på samma sätt som för utflödet är en uppskattning svår. Det maximala inflödet betraktas

därför inte vara så högt som 3,2 ton utan i samma storlek som det totala utflödet (inklusive den del som nöts bort eller hamnar i avfall), vilket ger ett totalt maximalt inflöde på 111 kg.

$$I = W_{Sverige} \cdot C \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 2.9}$$

Ett stickprov på 25 läpp-preparat var 12 var utan innehållsförteckning, nämner 2 av de övriga 13 att vismut kan förekomma i deras produkt. För ögonskuggorna (15 granskade) saknade 4 st innehållsförteckning och 3 av de övriga 11 att vismut kunde förekomma. Detta visar att vismut är förekommande i kosmetika. Det finns även misstanke om att vismut kan vara närvarande i hårfärgningsmedel då det numer är förbjudet att tillsätta bly till hårfärgningsmedel. Det finns dock inga studier som stödjer detta.

Plast

Vismutvanadat förekommer i ABS-plast (Akrylnitril-Butadien-Styren), polyamid-plast (PA-plast) samt polyeten-plast (PE-plast). ABS-plast och PE-plast kan innehålla mellan 0–5% vismutvanadat (Beckman, 2013). Under 2011 användes 65,5 ton vismutvanadat i Sverige (Diurlin, 2013). Vismutvanadat (BiVO_4) är ett färgämne med kod C01G31/00; C09C1/00 som innehåller omkring 64,52 % vismut (Beckman, 2013). Majoriteten av detta förekommer i färger och färgpastor, vilket kan användas vid plasttillverkning.

Beräkningar på ABS-plast, PA-plast och PE-plast med ett vismutinnehåll på 1–5 % visar att det årliga inflödet av dessa kan innehålla mellan 6–30 ton Bi (ABS-plast), 80–400 ton Bi (PE-plast) samt 84–420 kg Bi för PA-plast (ekv. 2.10). Detta ger ett totalt årligt inflöde på 86–430 ton till Stockholm.

$$I = W_{Sverige} \cdot C \cdot C_{vv} \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 2.10}$$

Färger

Enligt REACH (EG 1907/2006) måste säkerhetsdatablad innehålla uppgifter för att förebygga skador på människor och miljö. Vismut kan finnas i vanliga färger, men på grund av att vismut inte anses farligt för hälsa eller miljö nämns det inte i säkerhetsbladen för färgerna. Enligt Beckman (2013) används årligen i Stockholm omkring 2,4–3,2 ton vismut till färgindustrin, vilket använts som inflöde i denna studie (ekv. 2.11).

$$I = W_{Sverige} \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 2.11}$$

Konstnärsfärger

Studier indikerar att konstnärsfärger kan innehålla vismut (Lindgren, 2009, Stockholm Vatten, 2010), men det saknas data om eventuella mängder samt hur vanlig vismut verkligen är i sådana färger. I denna studie kunde därför inget flöde av vismut i konstnärsfärger beräknas. De kan dock inte uteslutas som en möjlig källa men mer studier behövs.

Övriga produkter och användningar

Fyrverkerier

Vismut har börjat användas för att ersätta den bly som tidigare fanns i fyrverkerier. Under 2010 och 2011 genomförde Kemikalieinspektionen (Ramström, 2012) en analys av fyrverkeripjäser, vilket sammanfattningsvis

visade sig innehålla mellan 0,8 Bi µg/g och 14 000 Bi µg/g (medelvärde 1520 µg/g och medianvärde 5,1 µg/g). Detta visar att vismut är närvarande i fyrverkeripjäser och att inflödet till Stockholm under 2012 låg mellan 0,8 kg (medianvärde) och 230 kg (medelvärde) vismut beroende på beräkning (ekv. 2.12).

$$I = W_{Sverige} \cdot C \cdot PP_2 \quad \text{ekv. 2.12}$$

Läkemedel

Det finns i dagsläget inget tillåtet läkemedel i Sverige som innehåller vismut, enligt läkemedelsupplysningen (Lindgren, 2009; Stockholm Vatten, 2010). Importerade mängder läkemedel som kan innehålla vismut anses liten och därför försumbar för denna studie.

9.2.2 Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär (stock)

Plast

Enligt Beckman (2013) varierar livslängden beroende på plastens användningsområde. Vid ett antagande på en livslängd på 5 år skulle 430 (1 % vismutvanadat innehåll) – 2 200 ton (5 % vismutvanadat innehåll) Bi vara upplagrad i Stockholm (ekv. 2.13). Vid 10 år är motsvarande siffror 860 till 4 300 ton.

$$S = I \cdot T \quad \text{ekv. 2.13}$$

Kosmetika

Stocken av kosmetika är minimal då majoriteten av kosmetikan antagits användas inom ett år. Det kan dock argumenteras att en viss del kan finnas upplagrad, varför det här antagits att 10 % av inflödet kan finnas upplagrad i Stockholm. Det skulle totalt innebära mellan 0,5 kg (medianvärde) och 11 kg (medelvärde) vismut (ekv. 2.14).

$$S = I \cdot 0,1 \quad \text{ekv. 2.14}$$

Färger

Enligt Beckman (2013) kan mellan 12 ton och 32 ton vismut vara upplagrat i färg i Stockholm (ekv. 2.15). Det är då antaget att väggar målas om var 5e till 10e år.

$$S = I \cdot T \quad \text{ekv. 2.15}$$

9.2.3 Parametrar för vismut

Nedan presenteras vilka värden som använts för beräkningar (Tabell 9-9–9-12). Data har tagits från den källa som nämns och sedan räknats om för denna studie.

Tabell 9-9 Allmänna parametrar som använts vid beräkning av alla flöden.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande
PP ₂ (%)	0,08	Beräknad
PH (st)	767 650	Stockholm vatten, 2013a

Tabell 9-10 Parametrar som har använts vid beräkning av Källor till reningsverk för vismut. A = Antagande.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Kosmetika		
PH _{K 18-64} (st)	298 079	SCB, 2013 (Bilaga 5)
Z _{vikt} foundation och puder	0,12	A: antagen vikt på genomsnittlig förpackning
C (mg/kg) medelvärde	44 000	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) medianvärde	49	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) efter gruppering	2 500	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
Z _{vikt} ögonskuggor	0,05	A: antagen vikt på genomsnittlig förpackning
C (mg/kg) ögonskuggor medelvärde	11 00	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) ögonskuggor medianvärde	41	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
Färg		
W _{Sverige} (l) minimum	1	A: Det används i genomsnitt 1-2 l färg per person och år i Stockholm
W _{Sverige} (l) maximum	2	A: Det används i genomsnitt 1-2 l färg per person och år i Stockholm
C (%) minimum	0,0003	Beckman, 2013
C (%) maximum	0,0005	Beckman, 2013
Urin och fekalier		
C (µg person och dag) urin	0,045	Almqvist et al., 2007
C (µg person och dag) fekalier	0,69	Almqvist et al., 2007
Tvätterier		
M _{ut} (l/år)	140 000 000	Kotsch, 2013
C (µg/l)	4,79	Kotsch, 2013
Dagvatten/Dricksvatten		
C (ng/l) min	5	Naturvårdsverket, 1999
C (ng/l) max	20	Naturvårdsverket, 1997
M (1 000 l)	104 000 000	Stockholm Vatten, 2013a
M _H (%) del dagvatten	0,10	Lagerkvist, 2012
M _H (%) del spillvatten	0,54	Lagerkvist, 2012
DG (µg/l)	0,1	Lagerkvist, 2012
M _{ut} (l)	250 000 000	Lagerkvist, 2012
Trafik		
W _{Stockholm} (km/person)	419 904 550	RUS, nd
C (µg/km)	0,061	Sternbeck et al. (1999)

Tabell 9-11 Parametrar som har använts vid beräkning av Inflöde till Stockholms teknosfär av vismut. A = Antagande.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Kosmetika		
W _{Sverige} (kg) foundation	1 049 400	SCB, 2011 (Bilaga 5) A: 20 % av varugrupp består av foundation
W _{Sverige} (kg) puder	42 500	SCB, 2011 (Bilaga 5) A: 50 % av varugrupp består av puder
C (mg/kg) foundation medelvärde	36 191	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) Foundation medianvärde	53,5	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) puder medelvärde	51 810	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
C (mg/kg) puder medianvärde	45	Egna undersökningar (Bilaga 9.3)
Färg		
W _{Sverige} (kg) min	30 000	Beckman, 2013
W _{Sverige} (kg) max	40 000	Beckman, 2013
Plast		
W _{Sverige} (kg) ABS-plast	11 779 400	Beckman, 2013
W _{Sverige} (kg) PE-plast	154 163 900	Beckman, 2013
W _{Sverige} (kg) PA-plast	162 200	Beckman, 2013
C (%) 1%	0,01	A: Innehåll på mellan 1 % och 5 % vismutinnehåll
C (%) 5%	0,05	A: Innehåll på mellan 1 % och 5 % vismutinnehåll
C _w (%) Bi	0,6452	Del vismut i vismutvanadat

Fyrverkerier		
W _{Sverige} (kg)	1 880 000	SCB, 2011 (KN 36041000)
C (mg/kg) medelvärde	1520	Ramström, 2012
C (mg/kg) medianvärde	5,1	Ramström, 2012

Tabell 9-12 Parametrar som har använts vid beräkning av Upplagrad mängd i Stockholms teknosfär av vismut.
A = Antagande.

Förkortning	Värde	Källa/Antagande (A)
Kosmetika		
I (kg) medelvärde	3 229,1	Beräknad ekv 2.11
I (kg) medianvärde	4,7	Beräknad ekv 2.11
Plast		
I (kg) 1%	86 128,6	Beräknad ekv 2.12
I (kg) 5%	430 642,9	Beräknad ekv 2.12
T (år) 5	5	A1: 5 års livslängd
T (år) 10	10	A2: 10 års livslängd
Färg		
I (kg) min	2 411,0	Beräknad, ekv. 2.13
I (kg) max	3 214,6	Beräknad, ekv. 2.13

9.3 Bilaga 3: Kosmetika urval och analys

Enligt tidigare studier (Karlsson, 2012; Lindgren, 2009; Stockholm Vatten, 2010) är vismut närvarande i kosmetikaprodukter, vilket kan bidra till de uppmätta mängderna i reningsverkens slam. Dessa studier ger dock endast exempel och en mer omfattande studie behövs för att undersöka hur stor del av vismut i slam som kan förklaras av kosmetika. För att få ett representativt urval behövs därför ett större antal kosmetikaprodukter köpas in och nedan följer en lista över inköpta produkter samt en utförligare bakgrund till valt material. Vi har här fokuserat på puder, foundation och ögonskuggor.

9.3.1 Urval

Puder och foundation

Foundation och puder valdes för analys då studier visar att dessa kan innehålla vismut (Karlsson, 2012), och då i högre halter än andra kosmetikaprodukter. Inköp gjordes utifrån märken för foundation och puder som rangordnades högst hos svenska kosmetikaförsäljare. För varje märke gjordes sedan ett urval av produkter för inköp och analys. Totalt analyserades 16 foundationprodukter från 7 olika märken och 14 puderprodukter från 5 olika märken.

Metod

En undersökning av tillgänglig försäljningsstatistik av foundation och puder i Sverige visade en stor brist på information. Därför gjordes en undersökning av försäljningen enligt nedan:

Information om sålda märken samlades in via butiksbesök, telefonsamtal samt via hemsidor. Prioritetsordningen hos märkena är beräknad utifrån vad olika butiker och internetsidor säger är de mest populära och/eller sålda märkena (Tabell 9-13 och 9-14). Det högst prioriterade märket har fått sammanlagt flest poäng (4 poäng om listan består av 4 märken, 5 poäng om listan består av 5 märken). Nummer två på listan har sedan fått 3 poäng

(av 4 märken) respektive 4 poäng (av 5 märken) etc. Någon butik nämnde endast vilka märken de sålde mest av och i oprioriterad ordning, varför dessa endast fått 1 poäng i tabellerna. Information som gavs från marknadsansvarig på en känd kedja som säljer produkter för hälsa och skönhet innehöll deras mest sålda märken (och inte endast kosmetika), varför det har antagits att en liknande prioriteringsordning gäller för kosmetika.

Tabell 9-13 Foundation – poäng utifrån prioriteringar från olika butiker och internetsidor. Hämtad: 25 mars 2013.

Märke	Butik 1	Butik 2 ²	Butik 3 ³	Blogg ⁴	Internet 1 ⁵	Internet 2 ⁶	Totalt
bareMinerals	1	1			5	5	12
Clinique	4		4		3	1	12
L'Oreal	3		2	1		3	9
Lancome	2		3		4		9
Make Up Store		1				4	5
Maybelline		1		3	1		5
Max Factor			1	2	2		5
MAC						2	2

Tabell 9-14 Puder – poäng utifrån prioriteringar från olika butiker och internetsidor. Hämtad: 25 mars 2013.

Märke	Butik 1 ¹	Butik 2 ²	Butik 3 ³	Internet 1 ⁵	Internet 2 ⁶	Totalt
Clinique			4	4		8
Isadora	1	1			5	7
Max Factor			1	3	3	7
bareMinerals		1		5		6
Make Up Store		1			4	5
Lancome			3	1		4
L'Oreal			2			2
MAC					2	2
Jane Iredale				2		2
Sensai					1	2
Maybelline		1				1

¹ Kosmetikabutik i Stockholm

² Kosmetikabutik i Kalmar (oprioriterad ordning)

³ Marknadsavdelningen hos kosmetikabutik

⁴ Internetblogg hos kosmetikabutik med mest populära foundations

⁵ Internetsida med lista på mest populära produkter i Sverige

⁶ Mest köpta märkena på kosmetikabutiks hemsida

Max Factor, Maybelline och Make Up Store fick för foundation samma totala poäng och hamnade därför på en delad 5:e plats, varför fler parametrar räknades in för att bestämma vilket av dessa märken som skulle analyseras. Make Up Store valdes slutligen utifrån att märket har en egen butik (och därför har en egen försäljning vilket ökar den genomsnittliga försäljningen) samt att den var placerad som nummer två på listan över populärare märken hos en av de största kosmetikaförsäljarna i Sverige. Som komplement inköptes även en produkt vardera av Maybelline och Max Factor (se nedan).

Inköp av produkter

De mest populära produkterna baserat på märkena i Tabell 9-14 köptes in (Tabell 9-15 och 9-16). Dessa valdes utifrån vilka produkter av varje märke som placerats högst på internetsidor som visar de mest populära produkterna i Sverige och mest köpta märkena på en kosmetikabutiks hemsida.

Tabell 9-15 Foundation – urval för inköp.

Märke	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
bareMinerals ¹	Foundation SPF 15	Foundation SPF 15 Matte	
Clinique	Superbalanced Makeup	Anti-Blemish Liquid Makeup	Even Better Makeup SPF16
L'Oreal	True Match Foundation	True Match Minerals	Infallible Foundation
Lancome	Teint Miracle Foundation SPF 15	Teint Idole Ultra SPF 15	Photogébuc Lumessence Foundation
Make Up Store	Matt Foundation	Studio Foundation	Liquid Foundation
Maybelline	Dream Matte Mousse ²		
Max Factor	Miracle Touch Foundation ²		

¹ En av 3 sålda produkter räknas som hudkräm och räknas därför bort

² Kompletterande produkter

Tabell 9-16 Puder – urval för inköp.

Märke	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
Clinique	Stay-Matte Sheer Pressed Powder	Blended Face Powder	Redness Solution Instant Relief Mineral Pressed Powder
Isadora	Velvet Touch Compact Powder	Mineral Compact Powder	Ultra Cover Compact Powder
Max Factor	Creme Puff	Loose Powder	
bareMinerals	Mineral Veil	Ready SPF 15 Touch Up Veil	Pure Radiance
Make Up Store	Micronized Loose Powder	Micronized Compact Powder	Wonder Powder

Sammanfattningsvis ger detta:

- 16 foundationprodukter från 7 olika märken
- 14 puderprodukter från 5 olika märken

Ögonskuggor

Karlsson (2012) har analyserat en ögonskugga som enligt innehållsförteckningen innehåller silver, vilket hade en mängd på 26 mg/g. Inför denna studie gjordes ett stickprov av ögonskuggor i en butik. 15 olika ögonskuggor granskades, av vilka 7 st hade innehållsförteckning och 8 saknade sådan. Hos de 7 med innehållsförteckning nämndes inte silver.

I Karlsson (2012) har analyserade ögonskuggor visat sig innehålla 0,11 µg/g och 0,86 µg/g vismut. I vår studie gjordes liknande stickprov även för vismut. Av 7 granskade produkter med innehållsförteckning förekom vismut under "may contain" hos 3 produkter.

Kicks är nordens ledande kosmetikakedja med 250 butiker i Sverige, Finland och Norge (Kicks, 2013). Deras hemsida som visar deras mest sålda produkter har granskats (Tabell 9-17). Denna inkluderar produkter sålda både i butik och över internet.

Tabell 9-17 Från Kicks.se top 10 totalt mest sålda ögonskuggor (både i butik och på internet) (i rangordning). Hämtad: 16 september 2013.

Märke	Produkt
Make Up Store	Microshadow
MAC	Eye Shadow
Isadora	Eyeshadow Quartet
Make Up Store	Cybershadow
Make Up store	Eye Dust
Make Up Store	Cyber Glitter
Isadora	EyeShadow Trio
MAC	Paint Pot
Isadora	Single Eyeshadow
Max Factor	Smokey Eye Effect Eyeshadow
Maybelline	Color Tattoo 24 HR
Isadora	Eye Shadow Palette
L'Oréal	Color Infallible Eyeshadow

Bland dessa 13 produkter köptes 8 in. Produkter som exkluderats innehåller exempelvis fler än 2 färger, vilket kan ge ett otydligt analysresultat då innehållet i de olika färgerna kan skilja sig åt. Dock valdes en produkt (Max Factor Smokey Eye Effect Eyeshadow) som innehöll två färger, varav båda analyserades var för sig och medelvärdet användes sedan för beräkning.

Inköp av produkter

De ögonskuggor som köptes in (Tabell 9-18) är baserad på topplistan hos kicks.se (Tabell 9-16) där sju av de 8 produkterna är placerade som top 10 listan. Den sista produkten är placerad på plats 13 på listan över mest sålda produkter, men inkluderades för att öka hur stor del av marknaden som kan representeras av denna studie (se 9.3.2).

Tabell 9-18 Ögonskuggor som köptes in.

Märke	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4
Make Up Store	Microshadow	Cybershadow	Eye Dust	Cyber Glitter
MAC	Eye Shadow			
Isadora	Single Eyeshadow			
Max Factor	Smokey Eye Effect Eyeshadow			
L'Oreal	Color Infallible Eyeshadow			

9.3.2 Hur representativt är resultatet?

Puder och foundation

För att få en bild av hur representativt urvalet är som är gjort vid inköp av puder och foundation har information via olika hemsidor analyserats. Detta har genomförts dels via en internetsida med en lista på de mest populära produkterna i Sverige, och dels via kosmetikbutiks hemsida med de mest köpta märkena. Resultatet framgår av Tabell 9-19 och 9-20 och cirka 50 % av kosmetikamarknaden bedöms vara täckt av de valda märkena. Då dessa märken ofta är placerad bland de Top 10 mest sålda produkterna och då dessa produkter troligen säljer mer än genomsnittet representerar dessa produkter antagligen mer än 50 % av såld kosmetika i Sverige.

Tabell 9-19 Andel såld mängd för olika märkena säljer – foundation.

Foundation	% av Top 10 ¹	% av Top 10 ²
bareMinerals	20 %	10 %
Clinique	20 %	10 %
L'Oreal	0 %	20 %
Lancome	10 %	10 %
Make Up Store	0 %	10 %
Summa	50 %	60 %

Tabell 9-20 Andel såld mängd för olika märkena säljer – puder.

Puder	% av Top 10 ¹	% av Top 10 ²
Isadora	0 %	10 %
bareMinerals	20 %	0 %
Clinique	20 %	0 %
Max Factor	10 %	10 %
Make Up Store	0 %	20 %
Summa	50 %	40 %

¹ Internetsida med lista på mest populära produkter i Sverige

² Mest köpta märkena på kosmetikabutiks hemsida

Ögonskuggor

De produkter som valts i denna studie är placerade bland top 10 mest sålda produkterna (90 %, Tabell 9-21). Vid en granskning av de 20 mest sålda produkterna motsvarar dessa märken fortfarande 85 % av såld kosmetika. Vid en granskning av alla ögonskuggor gick siffran ner till 35 %. Då det inte finns någon uppgift om exakt hur många av produkterna som säljs är en exakt uppskattning om hur stor del detta urval representerar inte möjlig. Att siffran är så hög som 95–100 % verkar dock osannolikt. De märken som analyserats i denna studie står för 35 % av den totala marknaden, varav de har majoriteten av de mest sålda produkterna, varför dessa utvalda produkters silverinnehåll anses representera minst 35 % av det genomsnittliga silverinnehållet och vismutinnehållet för ögonskuggor i Sverige.

Tabell 9-21 Andel av total såld mängd (styck) för de valda märkena för hos kicks.se. Detta inkluderar produkter sålda i butik samt över internet.

Märke	% av Top 10	% av Top 20	% av totalt sålt antal ¹
Make Up Store	40 %	20 %	4 %
MAC	10 %	15 %	18 %
Isadora	30 %	25 %	5 %
Max Factor	10 %	15 %	5 %
L'Oreal	0 %	10 %	2 %
Summa	90 %	85 %	35 %

¹ Det totala sålda antalet av olika ögonskuggor var vid tiden för inköp 137 st

9.3.3 Analys

Analysmetoden för kosmetika är baserad på Besecker et al. (1998). I denna artikel nämns två olika metoder för analys av puder och foundation. Liknande analysmetod har använts av Karlsson (2010), som dessutom testat andra metoder och kommit fram till att denna var optimal.

Utförande

Omkring 0,15 g prov vägdes upp och fördes över till glaskärl. Sedan tillsattes 3 ml konc. salpetersyra (HNO_3) innan uppslutning i mikrovågsugn (Perkin Elmer Multiwave). Olika inställningar användes sedan för puder respektive foundation utifrån Besecker et al. (1998). För ögonskuggor användes programmet för puder för sådana prover som var mer lösa och programmet för foundation för mer fasta och oljiga prover. Efter programmet körts togs proverna ur och fick stå utan lock en kort stund så att nitrösa gaser fick avgå. Proverna fördes sedan över till 25 ml e-kolvar och fylldes upp med MQ-vatten. De fick sedan stå och sedimentera i några dygn. Flera prover hade efter detta en hinna av vad som kan antas vara fett och dessa filterades innan analys. Analysen skedde sedan med hjälp av atomabsorptionsspektroskopi (Perkin Elmer AAnalyst 400).

Några prov förbereddes även genom att glödgas innan de fördes över till mikrovågsgugnen. Detta gjordes genom att mellan 2 och 3 gram prov vägdes upp i deglar. De torkades först i värmeskåp (105 grader) i två dygn och glödgrades sedan (550 grader) i två timmar. Proverna, som då torkat, mortlades i degeln innan omkring 0,15g prov finfördelat prov fördes över till glaskärnen. De analyserades sedan på samma sätt som ovan. Detta gav

dock generellt lägre halter silver och vismut i proverna och metoden antogs inte ge ett bättre resultat och valdes därför bort.

9.3.4 Resultat

Puder och foundation

För ingen av produkterna angavs silver som innehåll på innehållsförteckningen, medan informationen för vismut varierade från: innehåller, kan innehålla (+/-) och innehåller inte. Enstaka prover saknade innehållsförteckning. Resultatet visar mycket varierande halter av vismut medan halterna för silver generellt var låga (Tabell 9-22 och 9-23). Det var ingen skillnad mellan puder och foundation utan variationen var likartad. Halterna varierade även mellan produkter av samma märke. De högsta halterna fanns generellt hos produkter som nämnde vismut på sin innehållsförteckning men även hos de som nämnde att produkten kan innehålla vismut. Enstaka prover utan innehållsförteckning hade högre halter av vismut. Prover som inte nämnde vismut på sin innehållsförteckning hade lägre halter av vismut.

Tabell 9-22 Silver och vismutkoncentration (mg/kg) i foundation.

Produkt	Innehållsförteckning	Silver (mg/kg)	Vismut (mg/kg)
F1	Bi	1,6	270 000
F2	Ja	2	74
F3	Ja	0,2	69
F4	Ja	0,2	46
F5	+/-	0,3	9 500
F6	Nej	0,8	260 000
F7	Nej	0,2	60
F8	Nej	ed	46
F9	+/-	0,2	13 000
F10	Ja	ed	39
F11	Ja	ed	47
F12	Ja	ed	40
F13	Ja	0,2	42
F14	Ja	ed	42
F15	Nej	ed	26 000
F16	Nej	ed	45
Medelvärde		0,4	36 191
Medianvärde		0,2	54

+/- = har innehållsförteckning och kan innehålla vismut (may contain)

Bi = innehåller vismut enligt innehållsförteckningen

Ed = ej detektionsbar

Tabell 9-23 Silver och vismut koncentration (mg/kg) i puder.

Produkt	Innehållsförteckning	Silver (mg/kg)	Vismut (mg/kg)
P1	Ja	2,4	58
P2	+/-	1	17 000
P3	+/-	1,2	38 000
P4	Ja	0,5	44
P5	Ja	1	44
P6	Bi	5,4	360 000
P7	+/-	1,3	90 000
P8	+/-	0,5	35
P9	Ja	1,1	46
P10	Ja	0,3	27
P11	Ja	0,8	24

P12	Ja	0,5	34
P13	Ja	0,7	25
P14	Bi	2,9	220 000
Medelvärde		1,4	51 810
Medianvärde		1	45

+/- = har innehållsförteckning och kan innehålla vismut (may contain)

Bi = innehåller vismut enligt innehållsförteckningen

Ögonskuggor

Enligt denna undersökning innehåller ögonskuggor endast en minimal mängd silver (Tabell 9-24). Vismut var närvarande i alla ögonskuggor, men endast i låga koncentrationer (undantag en produkt).

Tabell 9-24 Silver- och vismutkoncentration (mg/kg) ögonskuggor.

Produkt	Innehållsförteckning ¹	Silver (mg/kg)	Vismut (mg/kg)
E1F	+/-	3,6	48
E2	+/-	3,0	34
E3	Bi	4,1	59
E4	Nej	2,1	26
E5F	Ja	6,3	43
E6	Nej	2,8	27
E7	+/-	4,1	41
E8F	Nej	3,01	4 900 ¹
Medelvärde		3,6	790
Medianvärde		3,1	41

+/- = har innehållsförteckning och kan innehålla vismut (may contain)

Bi = innehåller vismut enligt innehållsförteckningen

¹ Beräknat medelvärde utifrån två prover då ögonskuggan hade två färger

F = filtrerat prov

9.4 Bilaga 4: Fordonstvättar undersökning

I Karlssons exjobb (2012), se Tabell 9-25 studerades 13 biltvättar (för personbil och lastbil) i Stockholm, med uppskattade frigjorda mängder silver (Ag) och vismut (Bi) per bil och tvätt.

Tabell 9-25 Frigjorda silver- och vismutmängder (µg/bil) från 13 biltvättar i Stockholm (Karlsson, 2012).

Biltvätt nr	min bilar/år	max bilar/år	Ag µg/bil	Bi µg/bil
1	20 000	25 000	3 024	59
2	20 000	25 000	234	0
3	1 000	1 000	274	0
4	15 000	20 000	518	0
5	5 000	5 000	0	0
6	10 000	10 000	0	0
7	5 000	5 000	640	0
8	1 000	5 000	0	73
9	1 000	5 000	0	13
10	1 000	5 000	0	145
11	500	500	0	462
12	2 000	5 000	0	28 921
13	2 000	5 000	0	0
Medelvärde			360	2 470

Baserat på antal bilar, lastbilar och bussar registrerade i Stockholm stad under slutet av 2012 (Tabell 9-26) och en studie av biltvättar gjord av Stockholm Vatten (2005) kan mängden utsläppt silver och vismut från biltvättar beräknas.

Tabell 9-26 Antal bilar, lastbilar och bussar registrerade i Stockholm stad i december 2012.

Personbilar	Lastbilar	Bussar
318 131	53 682	1 510

I rapporten från Stockholm Vatten (2005) görs följande antaganden:

- Buss- och lastbiltvättar kan räknas om till 3 personbiltvättar
- 30 % av biltvättarna görs i automat
- 50 % av biltvättarna görs på gatan (varav 50 % av vattnet leds bort tillsammans med spillvattnet)
- 20 % av biltvättarna görs i mindre anläggningar
- En personbil tvättas i genomsnitt 12 gånger om året

Utifrån medelvärdena i Tabell 9-24 och ovan nämnda antaganden kan sedan antal biltvättar beräknas (Tabell 9-27).

Tabell 9-27 Beräknat medelvärde Ag och Bi per bil (avrundat) som frigörs vid biltvätt.

Totalt antal biltvättar per år	5 800 000
30 % av biltvättarna görs i automat	1 700 000
50 % av biltvättarna utförs på gatan ¹	1 500 000
20 % görs på "övriga anläggningar"	1 200 000

¹ 50 % av detta påverkar spillvattnet

Medelvärdet (Tabell 9-25) och antal bilar (Tabell 9-27) användes för att beräkna silver och vismutbidrag från biltvättar (Tabell 9-28).

Tabell 9-28 Potentiellt utsläpp (kg/år) av Ag och Bi från biltvättar i Stockholm, avrundat.

	Från automat	Från gatutvättar ¹	Övriga anläggningar	Totalt
Ag kg totalt	0,6	0,5	0,4	1,6
Bi kg totalt	4,3	3,6	2,9	10,8

¹ Allt vatten från gatutvättarna går dock inte till reningsverken.

Ett bättre resultat kan fås genom att få fram hur många bilar som rör sig på de områden anslutna till Henriksdals reningsverk. Denna beräkning har utgått från Stockholms innerstad och därför inte inkluderat exempelvis de södra förortsområdena som är anslutna till reningsverket. Om dessa inkluderades skulle mängderna silver och vismut vara högre.

Sammanfattning

Silver från biltvättar uppskattas här motsvara 1,6 kg/år medan vismut uppskattas motsvara 11 kg/år av uppmätta mängder i slammet i Henriksdals reningsverk. Mer studier behövs inom detta område för mer exakta resultat. Detta inkluderar provtagning samt en bättre kartläggning av bilar inom Henriksdals reningsverks område.

9.5 Bilaga 5: Statistik

KN-koder som använts hos SCB.

Parameter	KN-kod	Beskrivning/Internet länk
Puder	33049100	Puder, för skönhetsvård eller hudvård, inkl. babypuder även hoppresat (exkl. medikamenter)
Foundation	33049900	Preparat för skönhetsvård, make-up eller hudvård, inkl. solskyddsmedel (exkl. mediakamenter, preparat för läpp-make-up, preparat för ögon-make-up, preparat för manikyr eller pedikyr samt puder, även hoppresad
Fyrverkerier	36041000	Fyrverkeripjäser
P		Preliminär folkmängd 2012. http://www.scb.se/Pages/ProductTables____25795.aspx
P _{H 18-64}		Kvinnor mellan 18 och 64 år. http://www.scb.se/Pages/TableAndChart____159277.aspx

Källa: SCB 2013



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se