




UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Mälarpjektet: Sedimentundersökningar i Mälaren och runt Södertälje kanal

2015-02-10

Upprättad av: John Sternbeck
Granskad av: Ann Helén Österås

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

RAPPORT

Mälarpjektet: Sedimentundersökningar i Mälaren och runt Södertälje kanal

Kund

Sjöfartsverket
601 78 Norrköping..

Konsult

WSP Environmental
121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 8 688 60 00
Fax: +46 8 688 69 22
WSP Environment & Energy Sweden
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
www.wspgroup.se

Kontaktpersoner


Uppdragsansvarig: John Sternbeck, 070-220 9667, john.sternbeck@wspgroup.se

Ombud: Marie Arnér 010-722 8117

Medverkande


Medins Biologi AB: sedimentprovtagning i Mälaren och Södertälje
Sweco, Sventab och WSP: kompletterande sedimentprovtagning i Södertälje
Alcontrol: kemiska analyser

Foto omslag: John Sternbeck och Medins Biologi AB

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Innehåll

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Sammanfattning | 4 |
| 2 | Inledning och syfte | 5 |
| 3 | Områdesbeskrivning | 6 |
| 4 | Provtagningsplan | 10 |
| 5 | Metodik | 15 |
| 5.1 | Provtagning | 15 |
| 5.2 | Analyser | 15 |
| 5.2.1 | Miljökemiska analyser | 15 |
| 5.2.2 | Kornstorleksanalyser | 16 |
| 5.3 | Utvärdering och jämförelsekriterier | 18 |
| 5.3.1 | Sedimenttyp | 18 |
| 5.3.2 | Föroreningar | 18 |
| 6 | Resultat och diskussion | 20 |
| 6.1 | Sedimenttyp, kornstorlek och vattenhalt | 20 |
| 6.2 | Miljökemi övergripande | 24 |
| 6.3 | Föroreningsnivåer i Mälarens sediment | 25 |
| 6.3.1 | Bakgrundshalter i ytsediment och förindustriella halter | 25 |
| 6.3.2 | Ytsediment i Mälarens muddrområden | 30 |
| 6.3.3 | Djupvariationer och medelhalter | 35 |
| 6.4 | Föroreningsnivåer i sediment kring Södertälje kanal | 35 |
| 6.4.1 | Bakgrundshalter | 35 |
| 6.4.2 | Ytsediment i kanalens muddringsområden | 36 |
| 6.4.3 | Variationer med sedimentdjupet | 37 |
| 6.4.4 | Halter i olika sedimenttyper | 37 |
| 7 | Referenser | 43 |
| | Bilaga 1. Provpunkter | |
| | Bilaga 2. Bedömning av lokala bakgrundshalter | |
| | Bilaga 3. Djupintegrerade medelhalter i västra Mälaren. | |
| | Bilaga 4 Lakttest av sediment från Södertälje kanal. | |

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |


1 Sammanfattning

Sedimenten längs den allmänna färderna i västra Mälaren samt i områdena kring Södertälje kanal har kartlagts avseende föroreningar och kornstorleksfördelning. Syftet är att ge underlag för miljökonsekvensbedömning och masshantering för den muddring som planeras för Mälarfärderna. Prover har även tagits i områden som utreds för dumpning av muddermassor samt i andra bakgrundsområden. Proven har analyserats på närsalter, metaller och organiska föroreningar (PAH, dioxiner, PCB och tennorganiska föroreningar) samt kornstorleksfördelning. Utifrån dessa data förslås också regionala bakgrundshalter för ytsediment.

Undersökningen i Mälaren omfattar området mellan Oknöfjärden i öster och Galten i väster. Totalt har sediment provtagits vid 90 punkter i Västra Mälaren. Vid muddringsområdena har prov uttagits på flera djup i sedimenten, för att belysa föroreningshalternas variation med sedimentdjupet. Den absoluta merparten av sedimenten i Mälaren kan karakteriseras som lergyttja med hög vattenhalt i ytsedimenten (ca 80%) som snabbt avtar mot 60-65% under ca 15 cm djup. Lokalt förekommer även mer kompakta glacialleror samt mer sandiga eller grusiga bottenar. Överlag håller sedimenten låga till måttliga föroreningshalter. Flertalet föroreningar uppvisar i muddringsområdena halter som är lika eller något lägre än i rådande bakgrundshalter från regionen. Tributyltenn och PAH uppträder dock med lokalt förhöjda halter främst i muddringsområdena i Köpinggränsen.

I områdena kring Södertälje kanal har sediment provtagits i 67 provpunkter, främst i muddringsområdena. Såväl sedimenttypernas utbredning som föroreningsnivåerna är mer heterogena i Södertälje än i Västra Mälaren. Särskilt i kanalen förekommer sandiga och grusiga bottenmaterial. Bakgrundshalterna i områdena kring Södertälje kanal är för flera föroreningar högre än i västra Mälaren. På flera platser i Södertälje kanal uppträder främst PAH och kvicksilver i höga till mycket höga halter. I kanalen är dock halterna relativt låga på djup under ca 50-70 cm. Föroreningarna uppträder i både gyttjelera och i blandade friktionssediment (grus, sand, silt och ler). Äldre mer kompakta leror uppvisar genomgående mycket låga föroreningsnivåer.

Denna rapport utgör en utökad version av tidigare rapport från 2014-04-08. Utökningen består i att undersökningarna kring Södertälje kanal nästan dubblats i omfattning. Inga delar om Mälaren har ändrats jämfört med föregående version.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

2 Inledning och syfte

För att kunna fördjupa och bredda de allmänna färderna i Mälaren krävs muddringsarbeten i flera områden. Kunskap om de blivande muddermassornas kemiska och fysiska egenskaper krävs av följande skäl:


- för att bedöma lämplig hantering av muddermassorna
- för att bedöma förorenings spridning och miljöpåverkan vid muddring

Utredningen av alternativa möjligheter att hantera muddermassor visar att dumpning är det totalt sett mest lämpliga alternativet (WSP 2014b). Därför krävs också kunskap om bottenarna i föreslagna dumpningsområden. Ett grundläggande krav på dumpningsområden är att det är ackumulationsbottenar så att dumpade massor kommer att ligga kvar i områdena. Kännedom om vilka föroreningsnivåer som råder i områden som utreds för dumpning krävs också för att kunna bedöma om en dumpning medför ökade, oförändrade eller minskade föroreningsnivåer, vilket utgör en del i miljökonsekvensbedömningen.

För att kunna besvara ovanstående frågor har omfattande undersökningar av bottenarna genomförts i Mälarpjektet. Denna rapport redovisar samtliga resultat från sedimentundersökningarna och omfattar följande aspekter:

- Sedimenttyper, kornstorleksfördelning och vattenhalt
- Föroreningshalterna beskrivs geografiskt och statistiskt
- Regionala bakgrundshalter i ytsediment beskrivs utifrån detta dataunderlag
- Föroreningshalterna i muddermassor relateras till regionala bakgrundshalter och andra bedömningsgrunder
- Områden med s.k. förorenade massor beskrivs
- Utvärdering av samband mellan sedimenttyp och föroreningsnivåer

Miljökonsekvenser som är relaterade till sedimenten och föroreningarna bedöms i en särskild rapport (WSP, 2014a).

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

3 Områdesbeskrivning

Den planerade verksamheten berör den västra halvan av Mälaren samt områden kring Södertälje kanal. De områden som är berörda samt ungefärliga mängder muddermassor illustreras i Figur 1. Mälaren består av ett antal bassänger åtskilda av sund. Galten är Mälarens västligaste bassäng och är relativt grund med ett vattendjup mellan ca 5-10 meter. Bassängerna öster om Galten är något djupare och mer förgrenade. Södertälje kanal utgör ett av Mälarens utlopp i Östersjön. Totalt berörs nio vattenförekomster.


Mälaren har en total omsättningstid på ca 2,8 år. I de enskilda vattenförekomsterna är omsättningstiderna kortare med Galten som har snabbast omsättning om ca en månad. Totalt indelas Mälaren numera i 32 vattenförekomster och det är betydande kemiska och ekologiska variationer inom sjön. En mer utförlig beskrivning av de ekologiska och kemiska förhållandena i Mälaren ges bl.a. i Sonesten m fl (2013). De områden som berörs av Mälarpjektet presenteras också avseende vattenmiljön i WSP (2014a), fisk och fiske i Calluna (2014) och naturmiljön i WSP (2014c).

Utbredningen av olika sedimenttyper beskrivs översiktligt för hela Mälaren i SGUs marin-geologiska karta serie K 223:1. SGUs kartblad ger också en beskrivning av förekommande sedimenttypers egenskaper. Ytsedimenten består i stora delar av Mälaren av postglaciala leror, vilka beroende på sitt innehåll av organiskt material karakteriseras som gyttjelera eller lergyttja (se Figur 2). I de djupare eller lugnare områden där gyttjelera kontinuerligt ackumuleras är sedimenttillväxten vid ytan mellan 3-12 mm per år (SGU, ser K223:1).

I grundare områden uppträder ytligt äldre postglaciala leror eller glacial lera, vilken bl.a. kännetecknas av lägre vattenhalt och lägre halt organiskt material. Lokalt förekommer i trängre eller grundare områden även grus eller sand samt bergklackar. Här sker ingen recent ackumulation av sediment.

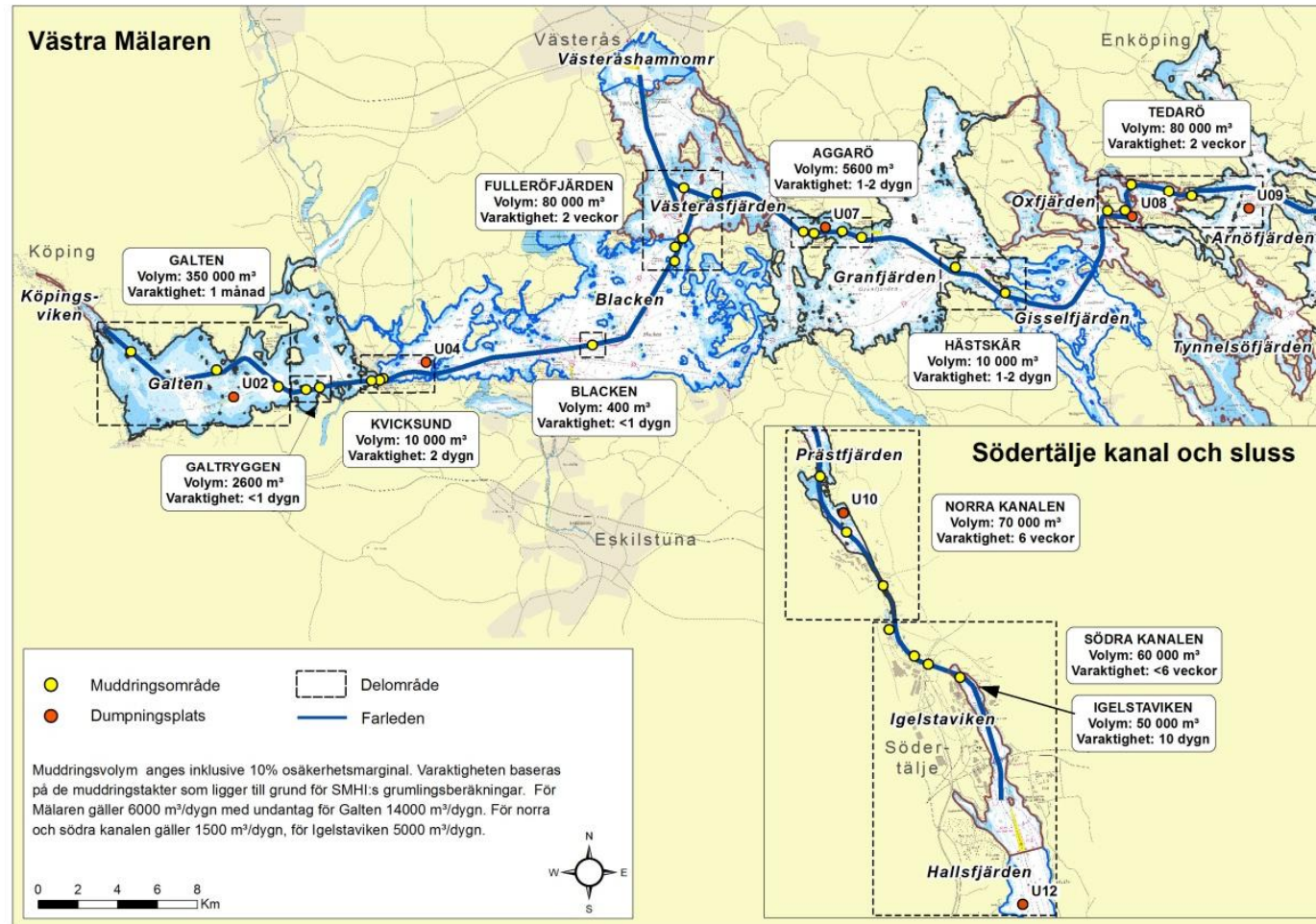
Södertälje kanal är grävd genom Södertäljeåsen varför bottarna ursprungligen främst består av sand och grus med inlagrade block och lerkörtlar. I flera områden förekommer dock inslag av mer förorenad gyttjelera eller lerig sand. Norr om kanalen och upp till Linasundet tyder SGUs kartläggning på förekomst av glaciallera och sand men tidigare provtagningar har påvisat gyttjelera och liknande sedimenttyper i detta område. I Igelstaviken och Hallsfjärden, söder om kanalen, ökar förekomsten av recenta gyttjelorer successivt söderut.

SGUs undersökning av föroreningar i Mälarens ytsediment (serie K223:2) omfattar 5-7 provpunkter i den västra halvan av Mälaren. I relation till Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket, 1999a) är halterna av t.ex. koppar, zink och PCB-7 i klass 3-4, dvs måttligt höga till höga. PAH och bly uppträder i klass 2-3, dvs låga


| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

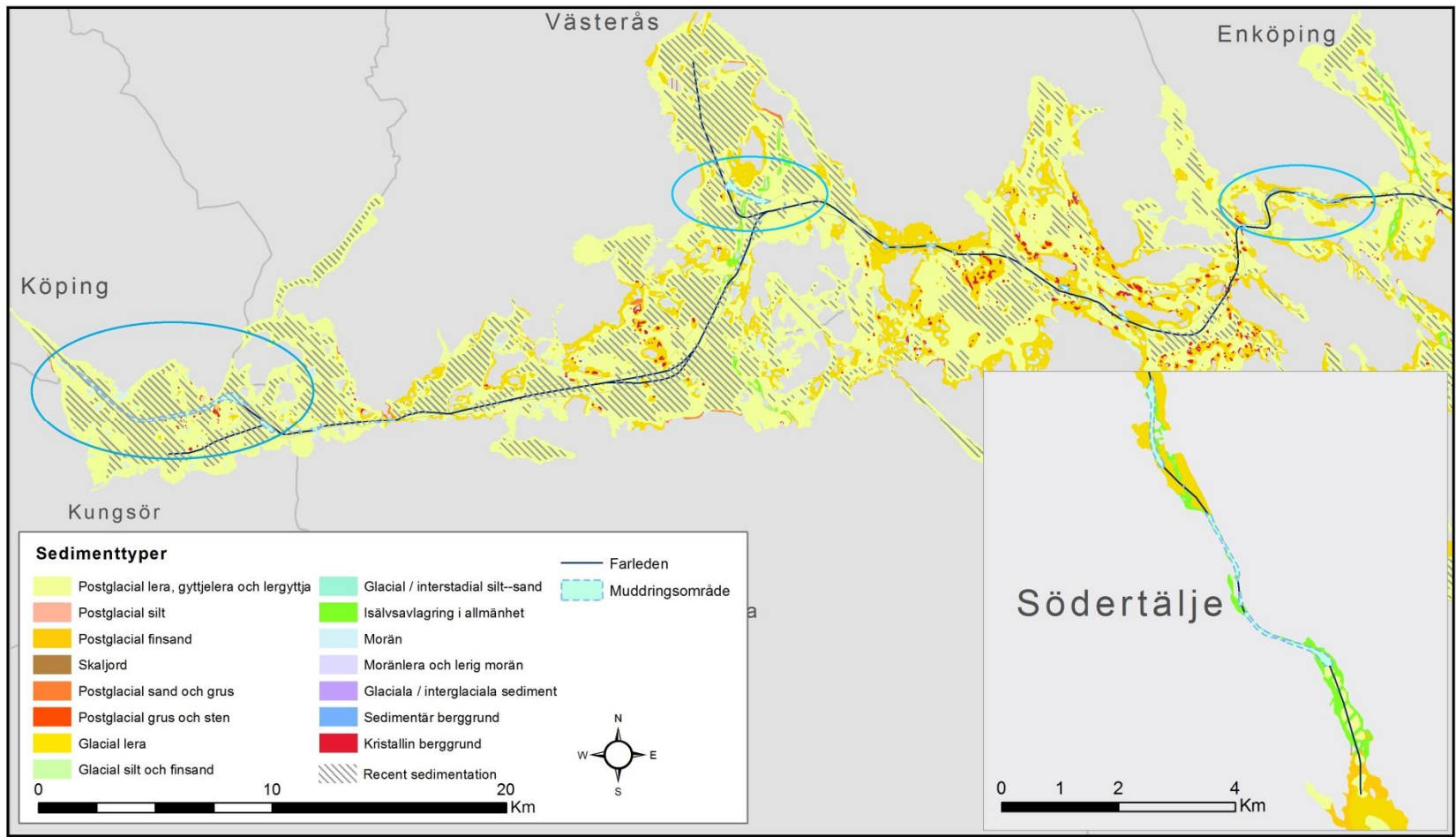
till måttlig höga. Sammantaget är dessa halter betydligt lägre än i östligaste Mälaren (t.ex. Östlund m.fl. 1998).

I Södertälje är det väl känt att kvicksilver uppträder i höga halter i sedimenten. Kviksilver förekommer allmänt i höga halter norr om kanalen och särskilt i Snäckviken (t.ex. Sternbeck m.fl., 2005).




Figur 1. Översiktlig karta av de olika muddringsområdena, muddermängder samt föreslagna dumpningsområden.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |



Figur 2. Sedimenttyper i västra Mälaren och Södertälje enligt SGU (©SGU). Ungefärlig utbredning av områden med pågående sedimentation av gyttjelera markeras med raster. De tre större muddringsområdena i Mälaren är noterade med ellipser.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarterna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

4 Provtagningsplan

Provtagningen är främst inriktad på att karakterisera blivande muddringsområden. Därutöver har sediment provtagits i de områden som utretts avseende lämplighet för dumpning av muddermassor, i vissa områden som kan påverkas av mudderspill samt i ett område där anläggningsarbeten kommer att utföras.

Vid muddringsområdena har sediment huvudsakligen undersökts på tre djupnivåer i sedimenten, för att i varje delområde bedöma om föroreningsnivåerna varierar systematiskt med sedimentdjupet. Dessa djupnivåer fördelades efter det genomsnittliga muddringsdjupet i respektive delområde. Djupnivåerna kom därför att variera något mellan olika provpunkter men en typisk indelning är följande:

- A. 0-5 eller 0-10 cm,
- B. 20-25 cm eller 20- 30 cm,
- C. 50-60 cm.

På vissa platser går nivå C ned till 80 cm i Mälaren och till 130 cm i kanalen.


Provpunkter för blivande muddermassor utsattes i GIS med följande underlag:

- Muddringsområdena identifierades med djupkurvor från Sjöfartsverkets sjömätning.
- Avgränsning av åtgärdsområden (Sjöfartsverket).
- Uppgifter om planerat muddringsdjup i respektive område (Sjöfartsverket).
- SGUs maringeologiska karta för Mälaren.

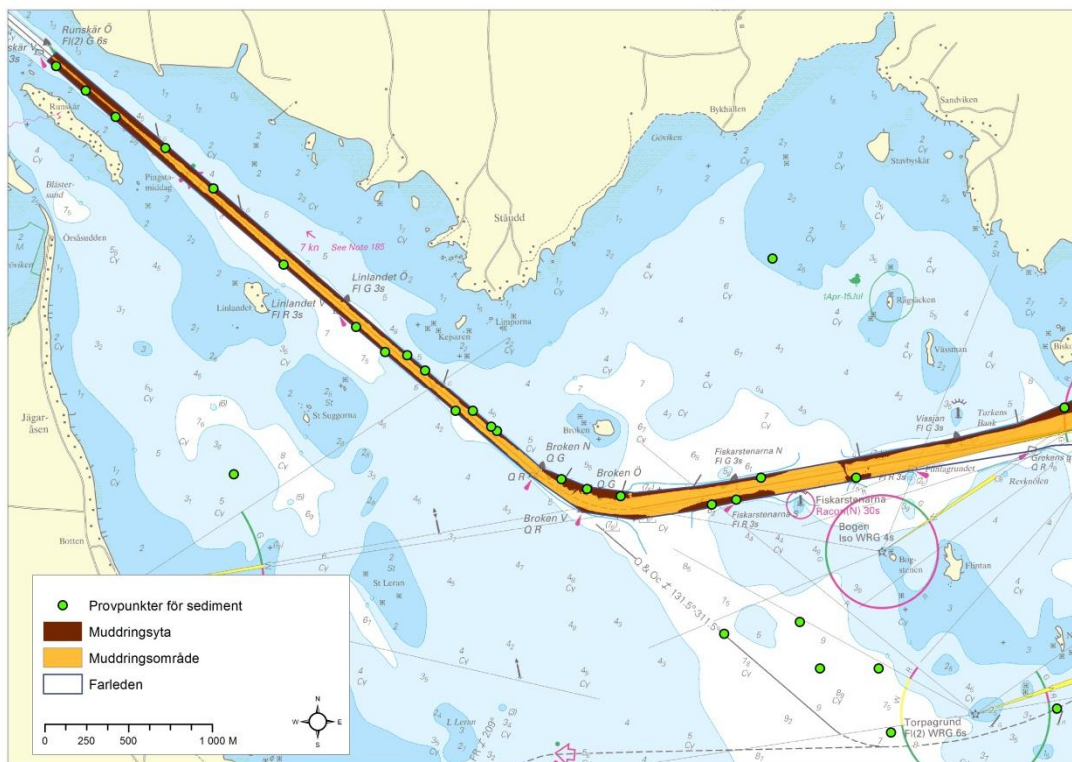
Muddring kommer till stora delar att utföras i randen av farleden. Därför har provpunkter utsatts med stor precision, vilket också kunnat uppnås i fält. Detta illustreras i Figur 3 för Köpingrännan i nordvästra Galten.

Undersökning i muddrområden har skett i flera steg. Inledningsvis utfördes en översiktlig provtagning av samtliga muddringsområden med planerade muddringsvolym överstigande ca 500 m³. De minsta områdena med planerade volymer mellan ca 15-500 m³ som är belägna långt från tänkbara källområden ingick inte i denna undersökning. Motivet är att det är små volymer och att SGUs karta t.ex. visar förekomst av glacial lera.

I de områden där undersökningar från steg 1 indikerade förekomst av mer förorenade sediment, eller där det föreföll vara stora variationer i sedimentens egenskaper, genomfördes i steg 2 och 3 förtätad provtagning. I Södertälje har också en fjärde undersökning utförts under

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarterna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

hösten 2014. Syftet med denna indelning i flera steg var att inrikta störst insatser till de områden där de bäst behövs.




Figur 3. Exempel på hur sedimentprovtagning planerats i förhållande till muddringsytor.

Utgångspunkten för bestämning av antalet provpunkter i respektive muddringsområde i steg 1 var riktlinjerna i Naturvårdsverkets vägledning för muddring (Naturvårdsverket, 2010), men med justering i respektive delområde utifrån om avsättningsförhållandena bedömdes som likartade eller variabla inom områdena.

I dumpningsområdena och påverkansområdena är det framförallt intressant med kunskap om sammansättningen i ytskiktet, varför undersökningarna främst omfattar nivå A. Val av områden som är lämpliga för dumpning har utretts separat (WSP, 2014b). En stegvis process har tillämpats varför sediment har undersökts i flera områden än de som Sjöfartsverket slutligen ansöker om dispens för. Därför redovisas data både för dumpningsområden och för förkastade dumpningsområden.

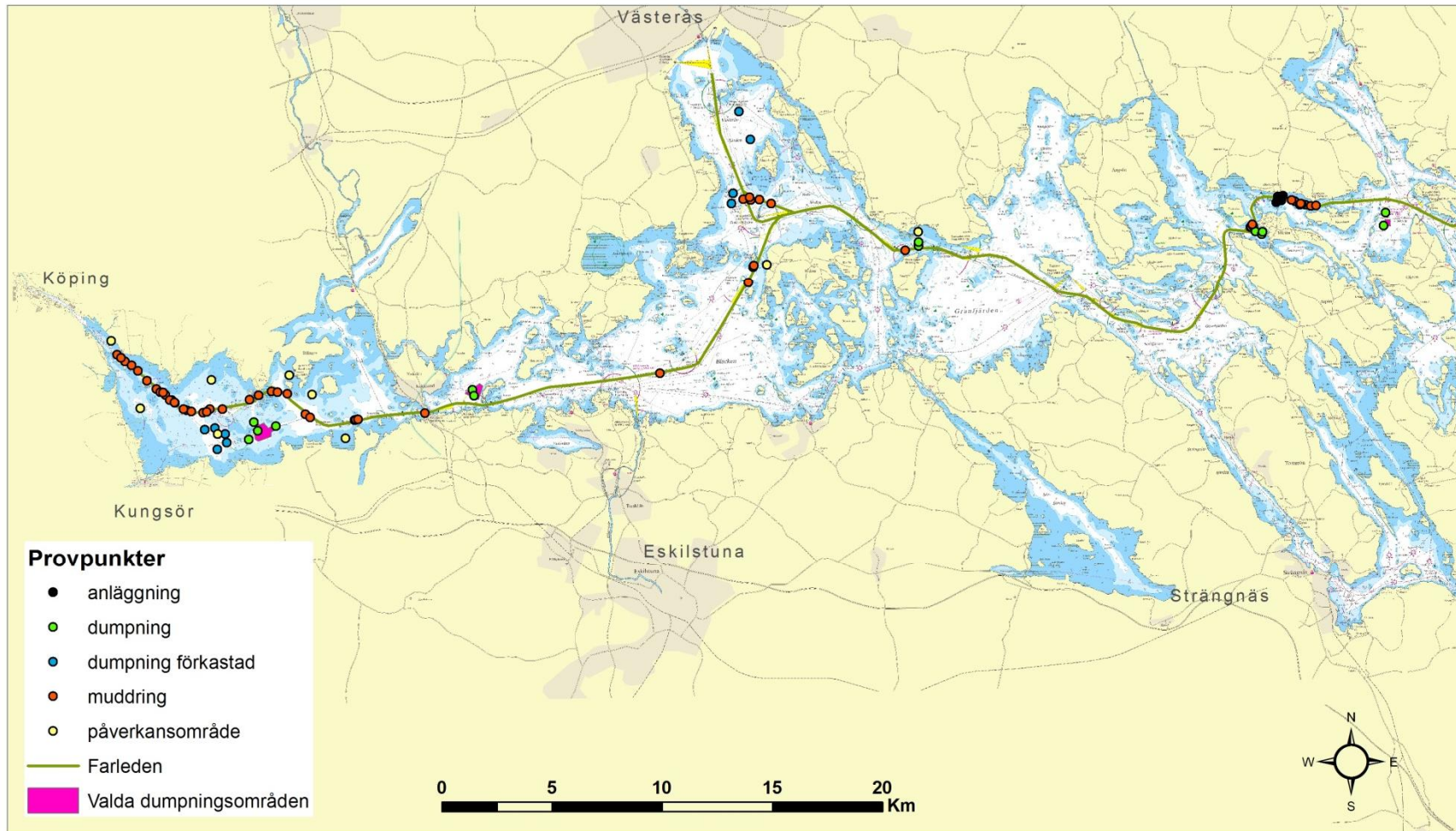
En sammanfattning av det totala antalet provpunkter i de olika typområdena ges i Tabell 1. Vissa provpunkter kunde inte provtas pga av sten, grus eller berg, vilket tyder på att SGUs maringeologiska karta inte är helt korrekt vid hög upplösning. Samtliga provpunkter återges översiktligt i Figur 4 och Figur 5. Med högre upplösning och med angivande av provpunkts-

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

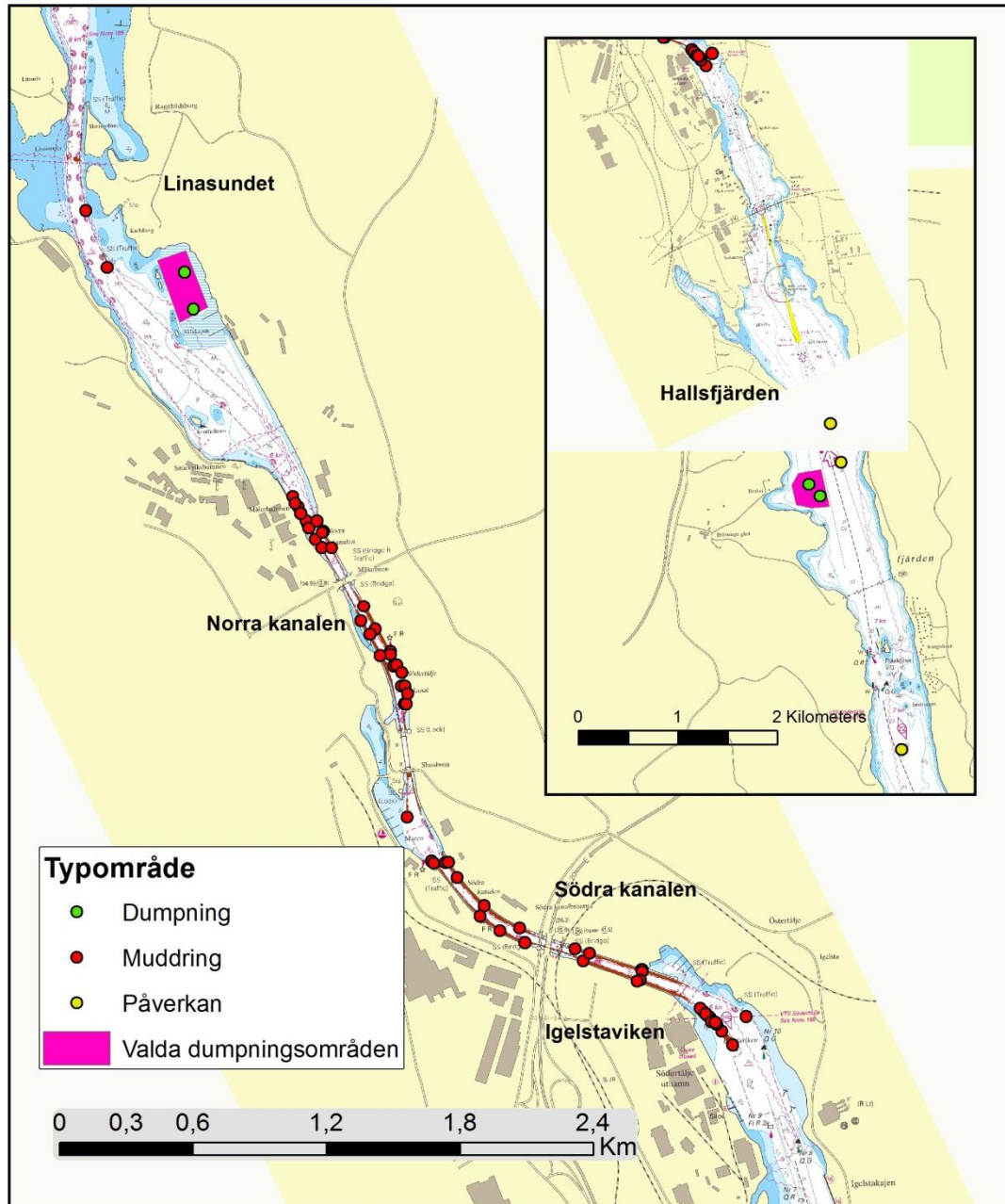
nummer återges samtliga provpunkter på kartor i bilaga 1. Totalt omfattar undersökningarna 195 sedimentprov från Mälaren och 122 sedimentprov från Södertälje kanal med omgivning-
ar.

Tabell 1. Översikt över provpunkter i olika typområden.


| Område | muddring | dumpning | dumpning förkastad | påverkan | anläggning | Totalt per område |
|---------------------------------|------------|-----------|-----------------------|-----------|------------|----------------------|
| Mälaren | | | | | | |
| Galten | 32 | 4 | 5 | 7 | | 48 |
| Blacken | 2 | 2 | | | | 4 |
| Västeråsfjärden | 8 | | 4 | 1 | | 13 |
| Granfjärden | 1 | 2 | | 1 | | 4 |
| Oxfjärden | 12 | 3 | | | 4 | 19 |
| Arnöfjärden | | 2 | | | | 2 |
| Södertälje | | | | | | |
| Prästfjärden – norra kanalen | 30 | 2 | | | | 32 |
| Södra kanalen | 18 | | | | | 18 |
| Igelstaviken | 11 | | | | | 11 |
| Hallsfjärden | | 2 | | 4 | | 6 |
| Totalt | 114 | 17 | 9 | 13 | 4 | 157 |



Figur 4. Provpunkter i västra Mälaren. Detaljerade kartor ges i bilaga 1.



Figur 5. Provpunkter i Södertälje kanal. Detaljerade kartor ges i bilaga 1.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

5 Metodik

5.1 Provtagning

All sedimentprovtagning i Mälaren utfördes av Medins Biologi AB under maj och november 2012 samt i juni 2013. Sedimenten provtogs med Limnosprovtagare eller Appelloprovtagare. Vid grövre sediment användes Ekmanhuggare. Tre sedimentproppar togs i varje provpunkt, utifrån vilka samlingsprov upprättades. Sedimenten okulärbesiktigades i fält och fältprotokoll upprättades för varje punkt. Fältprotokollet omfattar färg, sedimenttyp, tecken på förekomst av H₂S eller olja, gasförekomst, samt eventuell förekomst av växtdelar. Sedimenten skiktades på båten och proven förvarades kallt och mörkt i glaskärl. Inom några dagar sändes proven till analyslaboratorium.


Den första sedimentprovtagningen i Södertälje kanal utfördes av Medins Biologi AB under juni 2012. Mycket hårda bottenar förekom på flera platser främst i kanalen. Därför utförde SWECO i oktober 2012 en andra kompletterande provtagning där prov ned till en dryg meter erhöles genom borrhning och provtagning med gruskanna. Eftersom det i vissa områden påträffades bl.a. kvicksilver krävdes en bättre avgränsning av föroreningarna. Vid ett område i kanalen behövdes också provtagning precis invid befintliga erosionsskydd. En tredje provtagning i kanalen utfördes därför med dykare (Sventab AB) i november 2013. Slutligen utfördes en fjärde provtagning i Södertälje kanal i oktober 2014. Denna utfördes huvudsakligen av SWECO med borrhbandvagn och gruskanna från Sjöfartsverkets fartyg Fyrbjörn. Proven i detta steg analyseras enbart på metaller och PAH, eftersom tidigare undersökningar visat att det är kvicksilver och PAH som är styrande för masshanteringen i detta område.

5.2 Analyser

5.2.1 Miljökemiska analyser

Sedimentprov analyserades av Alcontrol på närsalter, metaller, organiskt kol och ett antal organiska föroreningar. En översikt av analysmetodik återges i Tabell 2. Metaller är analyserade efter extraktion i kungsvatten. Antal analyser per ämnesgrupp samt analytiska rapporteringsgränser anges i Tabell 3.

Alcontrol är ett av Swedac ackrediterat laboratorium. Som ett ackrediterat laboratorium uppfyller Alcontrol kraven i kvalitetsstandarden SS-EN ISO 17025. Den tekniska delen av företagets kvalitetssystem innefattar ett omfattande program för såväl validering av metoder som intern och extern kvalitetskontroll, allmänna kvalitetssäkringsrutiner samt rutiner för kalibrering, service och underhåll av instrument och utrustning.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |


Samtliga metoder som använts är ackrediterade, förutom metoden för TOC samt analys av mono-oktyltenn. Samtliga ackrediterade metoder är validerade. För att fortlöpande övervaka analysresultatens riktighet finns ett program för intern kvalitetskontroll. Inom detta program sker regelbunden analys av blank- respektive sterilprov, syntetiska kontrollprov, naturliga kontrollprov samt certifierade referensmaterial respektive referensstammar. Resultaten från kontrollerna dokumenteras och utvärderas statistiskt, både på daglig basis och för att upptäcka eventuella trender, även ur ett långtidsperspektiv. De statistiska resultaten från internkontrollen används även vid beräkning/skattning av den totala mätosäkerheten för respektive metod.

Laktester har utförts på några prov för att bedöma risken för att metaller ska gå i lösning i samband med grumling. Resultat och genomförande av de tester som utförts på sediment från Västra Mälaren beskrivs i en bilaga till konsekvensbedömning för vattenmiljön (WSP, 2014a). I denna rapport återges resultatet för lakttest på ett kvicksilverförorenat sediment från Södertälje i bilaga 4.

Slutligen utfördes analyser av vissa prioriterade ämnen enligt 105/2008/EU. Den fullständiga listan över prioriterade ämnen innefattar flera ämnen som ingår i denna undersökning, nämligen vissa metaller, TBT och PAH. Många av de övriga ämnen bedöms inte relevanta, t.ex. för att de sedan länge är förbjudna eller utfasade eller för att de inte binder till sediment. De extra prioriterade ämnen som bedömdes motiverade att undersöka i några sedimentprover var nonylfenol, oktylfenol, DEHP samt PBDE (#28, 49, 99, 100, 153, 154 och 183). Analyserna utfördes på sex samlingsprov av flera ytsediment från följande delområden: västra Galten, centrala Galten, Tedarö, norra kanalen, södra kanalen och Igelstaviken.

5.2.2 Kornstorleksanalyser

Kornstorleksanalyser utfördes med laserdiffraction vid VTI. Med laserdiffraction erhålls andelen partiklar i storlekar från 1-192 µm. Vid förekomst av grövre material utfördes siktanalys eller en kombination av båda metoderna. Totalt utfördes kornstorleksanalys på 92 prov från Mälaren och 25 prov från Södertälje kanal.


| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärdlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Tabell 2. Analyserade ämnesgrupper och metodik.

| Analys | Metod | Instrument | Mätosäkerhet |
|---------------------|------------------------|--------------------------------|--------------|
| PAH16 | Inhouse metod | GC/MS | ± 25% |
| PCB | SS EN 1948 mod | GC/HRMS | ± 10-20% |
| Dioxiner | SS EN 1948 mod | GC/HRMS | ± 30% |
| Metaller | SS EN ISO 11885-2:2009 | ICP-AES | ± 20-25% |
| Fosfor (total) | SS EN ISO 11885-2:2009 | ICP-AES | ± 20-25% |
| Kväve (total) | SS 028101-1 | Destillation enl Kjeldahl mod. | ± 15-20% |
| TOC | NEN EN 13137 mod. | Elementar analysator | |
| Tennorganiska ämnen | SS EN ISO 23161 mod. | GC/QQQ | ± 40-45% |
| Kvicksilver | SS ISO 16772-1:2004 | AAS | ±25-30% |

Tabell 3. Översikt av analysernas omfattning och den analytiska rapporteringsgränsen.

| Ämnesgrupp | Mälaren | Södertälje kanal | Rapporteringsgräns |
|----------------------|---------|------------------|---|
| | Antal | antal | |
| Torrsubstans | 195 | 61 | ej relevant |
| Glödgningsförlust | 135 | | ej relevant |
| N-tot | 187 | 29 | |
| P-tot | 195 | 60 | |
| Arsenik | 195 | 121 | 1 mg/kg ts |
| Bly | 195 | 121 | 1 mg/kg ts |
| Kadmium | 195 | 121 | 0,1 mg/kg ts |
| Kobolt | 195 | 121 | 0,25 mg/kg ts |
| Koppar | 195 | 121 | 0,5 mg/kg ts |
| Krom | 195 | 121 | 0,5 mg/kg ts |
| Nickel | 195 | 121 | 0,5 mg/kg ts |
| Zink | 195 | 121 | 0,75 mg/kg ts |
| Kvicksilver | 195 | 122 | 0,025 mg/kg ts |
| PCDD/F (19 kongener) | 69 | 24 | 2 ng/kg ts för enskilda kongener |
| Butyltennföreningar | 169 | 48 | 1-2 µg/kg ts för enskilda ämnen |
| Oktyltennföreningar | 169 | 48 | 1-2 µg/kg ts för enskilda ämnen |
| Fenyltennföreningar | 169 | 48 | 1-2 µg/kg ts för enskilda ämnen |
| PCB-7 | 84 | 25 | 0,1 µg/kg ts för enskilda kongener |
| PAH-16 | 193 | 113 | 10 µg/kg ts för enskilda ämnen (naftalen 100 µg/kg ts) |
| TOC analyserad | 189 | 46 | 0,25 % av TS |

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

5.3 Utvärdering och jämförelsekriterier

5.3.1 Sedimenttyp

Klassning av sedimenttyp är gjord utifrån sammanvägning av följande parametrar:

- Kornstorleksfördelning
- TOC och glödförlust
- Vattenhalt
- Fältobservationer såsom färg, hårdhet och kornstorlek.


Sediment med mer än 15% ler ($< 2 \mu\text{m}$) klassas som lera. För enkelhets skull har alla lersediment indelats i två typer: lera och gyttjelera, utifrån organiskt innehåll och färg men även vattenhalt. Äldre leror har TOC lägre än 1% och är mer konsoliderade med lägre vattenhalt än recenta leror. Det som i denna rapport benämns gyttjelera kan även omfatta leryttja, beroende på innehållet av organiskt material. Som kriterium för dessa gyttjeleror sätts att TOC ska vara högre än ca 1%. Som kompletterande klassningskriterier har halter av totalväve, TBT, PCB och Hg använts. Lera avser främst glacial lera eller mycket gammal postglacial lera och bör således ha mycket låga halter av Hg och ej detekterbara halter av TBT och PCB. Detta stämmer i nästan samtliga fall. I några fall är klassningsparametrarna motsägelsefulla, vilket kan bero på blandat material t.ex. från äldre dumpningsområden.

Grövre sediment har klassats utifrån kornstorleksfördelningen samt geoteknisk klassning enligt SGF, utförd av SWECO.

5.3.2 Föroreningar

Jämförelsekriterier för uppmätta halter kan tjäna olika syften. I detta fall är det angeläget att undersöka om sedimenten är förorenade relativt rådande bakgrundshalter i regionen, om de rådande bakgrundshalterna är höga eller låga i ett nationellt perspektiv, samt specifikt om blivande muddermassor är förorenade relativt tänkbara dumpningsområden eller påverkansområden.

För svenska sjösediment saknas i stort sett värden på aktuella och regionalt representativa bakgrundshalter. Naturvårdsverket publicerade år 1999 bedömningsgrunder som bl.a. beskrev metallhalter i kust och hav samt i sjöar och vattendrag i en femgradig skala från låga till mycket höga halter (Naturvårdsverket, 1999a, b). Bedömningsgrunderna för sjöar och vattendrag omfattar metaller men inte organiska föroreningar. Haltgränserna för flera av


| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

metallerna i bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag måste betraktas som väldigt höga i dagens perspektiv och kommer därför inte beaktas vidare i denna utredning.

Bedömningsgrunderna för kust och hav saknar regional geografisk upplösning och kan därför slå fel vid jämförelse med halter från enskilda områden. För metaller kan bl.a. berggrunden medföra regionala haltvariationer även i sediment. Haltgränserna bygger också på mer än 15 år gamla analyser, är för metaller baserade på en något svagare extraktionsmetod än vad som här tillämpats, och innefattar inte tennorganiska föreningar eller dioxiner.

Strategin i detta projekt är därför att bestämma lokala bakgrundshalter för Västra Mälaren. Dessa rimlighetsbedöms sedan genom jämförelse mot Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav eller andra miljöövervakningsdata.

Bakgrundshalter för ytsediment skiljer från s.k. förindustriella bakgrundshalter, eftersom ytsediment är påverkade av diffusa emissioner från bl.a. tätorter och atmosfäriskt nedfall. Det primära intresset är att jämföra föroreningsnivåer i muddermassor med de i bakgrundsområden. Som mått på nuvarande bakgrundshalter har vi därför sammanställt de analyser som är utförda på sediment från föreslagna dumpningsområden samt påverkansområden. Detta är prov på ytsediment från totalt 31 provpunkter. Bakgrundshalter i ytsediment förväntas uppvisa en viss variation beroende på variationer i sedimenttyp, kolhalt, mineralogi mm. Därför är strategin här att redovisa bakgrundshalter som ett intervall snarare än ett exakt värde per ämne.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

6 Resultat och diskussion

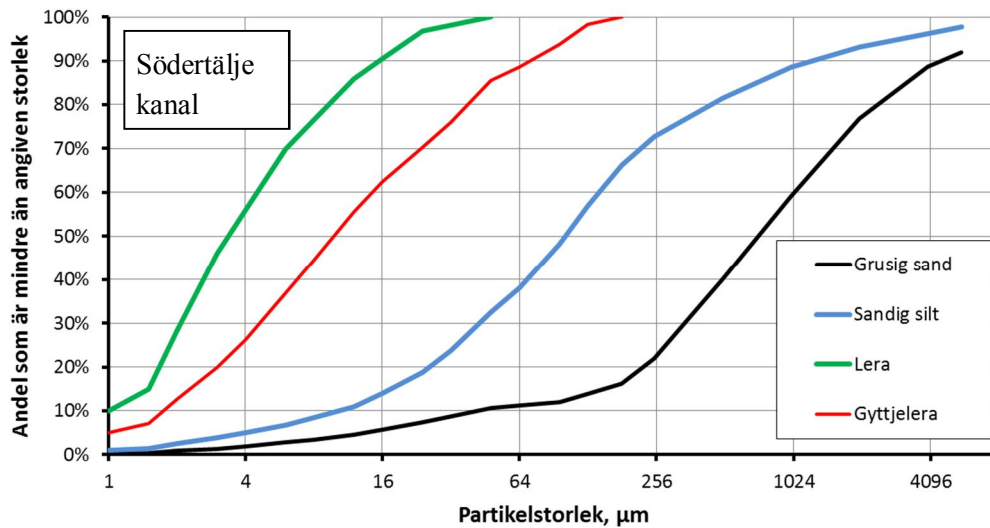
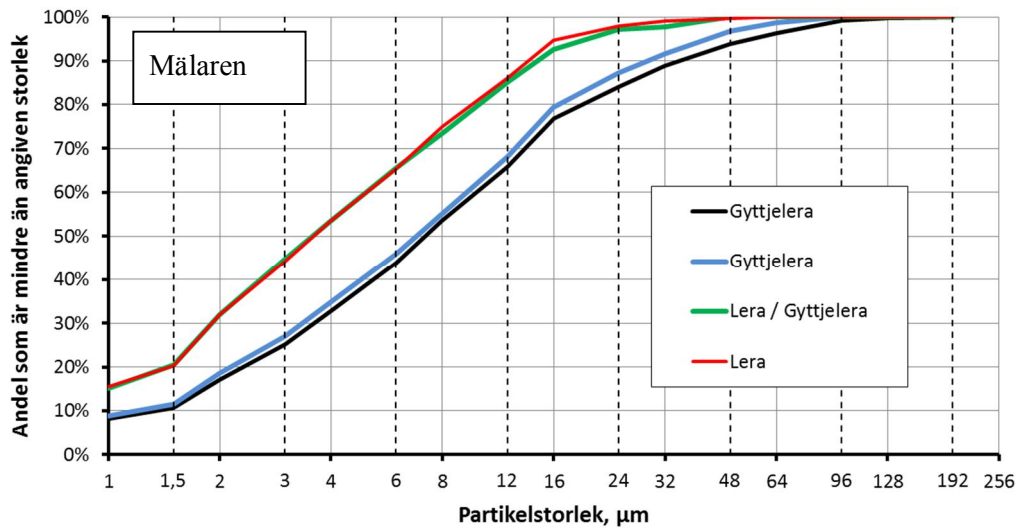
6.1 Sedimenttyp, kornstorlek och vattenhalt

Sedimenttyper har bedömts utifrån kriterierna i avsnitt 5.3.1. I stort sett råder god överensstämmelse med SGUs klassning (Figur 2). Vissa lokala avvikelser föreligger t.ex. där SGU klassat glaciallera och upptaget material är sandigt eller grusigt. I norra Igelstaviken visar samtliga prov på lera eller gyttjelera, medan SGUs karta tyder på isälvmaterial.


I de undersökta områdena i Mälaren är gyttjelera den vanligaste sedimenttypen, följt av lera. I Mälaren har sand och grus påträffats i få områden inom dessa undersökningar. I Södertälje kanal råder större variationer och många sediment är blandningar, t.ex. lerig sand eller sandig silt. På många platser förekommer också sandiga och grusiga material.

I Mälarens gyttjeleror är medianstorleken $8,3 \pm 3,3 \mu\text{m}$ och lerhalten omkring 15-25 %. För de Mälarpöv som klassats som lera är medianstorleken $5,2 \pm 2,1 \mu\text{m}$ och lerhalten omkring 25-40 %. Inom gyttjeleror respektive leror finns inga betydande regionala variationer i Mälaren; medianstorleken är densamma för olika delområden. Lergyttja från Södertälje kanal har dock något större mediandiameter än lergyttja från Mälaren. I Figur 6 visas kornstorleksfördelning för några typiska prov representerande olika sedimenttyper.

Vattenhalten har stor betydelse för sedimentens fysiska egenskaper. Gyttjeleror eller liknande recenta leror har generellt lägre TS (dvs högre vatteninnehåll) än övriga sedimenttyper. Vattenhalten i lergyttja är knappt 20% i de ytliga skikten och ökar sedan snabbt mot ca 40%. Mer konsoliderade leror, vilket åtminstone delvis kan vara glaciala leror, har något högre TS-halt. Hur torrsubstansinnehållet varierar med djup och med olika sedimenttyper illustreras i Figur 7. Den torra bulkdensiteten, dvs mängd sediment per volymenhet av blött sediment är i Mälaren ca $0,35 \text{ kg/dm}^3$ för gyttjelera och $0,67 \text{ kg/dm}^3$ för lera. Till följd av att lergyttja från Södertälje kanal har något högre mediandiameter och lägre vattenhalt erhåller den också högre bulkdensitet än lergyttja från Mälaren. Detta återspeglar större inslag av grövre material såsom grovsilt. För de olika friktionsmaterialen varierar densiteten betydande men är generellt högre än för lerorna. De fysikaliska egenskaperna hos blivande muddermassor summeras i Tabell 4.



Figur 6. Typiska kornstorleksfördelningar för olika sedimenttyper från Mälaren (övre figur) och Södertälje kanal (nedre figur). Notera att skalan för x-axeln skiljer sig mellan figurerna.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Tabell 4. Fysikaliska egenskaper hos muddermassor. TOC och vattenhalt anges som medel \pm standardavvikelse för lera och gyttjelera. Gruppen friktionsmaterial är heterogen och där anges min och max för de olika parametrarna.

| Parameter | Lera | Gyttjelera | Friktionsmaterial |
|--|-------------------|-----------------|-------------------|
| Mälaren | | | |
| TOC, % | 0,95 \pm 0,77 % | 2,1 \pm 1,0 % | <0,25 - 0,6 % |
| Vattenhalt, % | 52 \pm 9 % | 68 \pm 8 % | 23 - 55 % |
| Lerhalt, % som är < 2 μ m | 25 - 40% | 15 - 25 % | 0,1 - 17 % |
| Densitet, beräknad, kg ts/dm ³ vs | 0,67 \pm 0,18 | 0,35 \pm 0,13 | 0,8-1,4 |
| Mediandiameter, μ m | 5,2 \pm 2,1 | 8,3 \pm 3,3 | |
| Södertälje | | | |
| TOC, % | 1,6 \pm 1,4 % | 2,9 \pm 1,4 % | <0,25 – 5,5 % |
| Vattenhalt, % | 52 \pm 14 % | 57 \pm 15 % | 14 – 55 % |
| Lerhalt, % som är < 2 μ m | 16-38 % | 7 - 21 % | < 0,1 – 3 % |
| Densitet, beräknad, kg ts/dm ³ vs | 0,70 \pm 0,30 | 0,60 \pm 0,26 | 0,60-1,7 |
| Mediandiameter, μ m | 5,2 \pm 2,1 | 11 \pm 3,6 | |

Nedan följer en kort beskrivning av muddermassorna inom varje delområde.

Galten

De områden som ska muddras i Galten kännetecknas huvudsakligen av gyttjelera med hög vattenhalt. Djupare sediment består på vissa platser av mer konsoliderad lera. Vid Galtryggen i Östra Galten dominerar bottarna av äldre konsoliderad lera.

Västeråsfjärden


Muddringsområdena kring Fullerö i Västeråsfjärden domineras av gyttjelera. Mindre muddring planeras också runt ön Flaten där bottarna består av lersand.

Aggarö

Mindre muddring kommer ske där bottarna består av lersand eller äldre lera.

Tedarö och Hjulsta

Muddring sydost om Tedarö sker till övervägande delar i gyttjelera men också i lera och friktionsmaterial. Muddringsområdena öster om Hjulstabron sker i både gyttjelera, lera och friktionsmaterial.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarderfarna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Linasundet

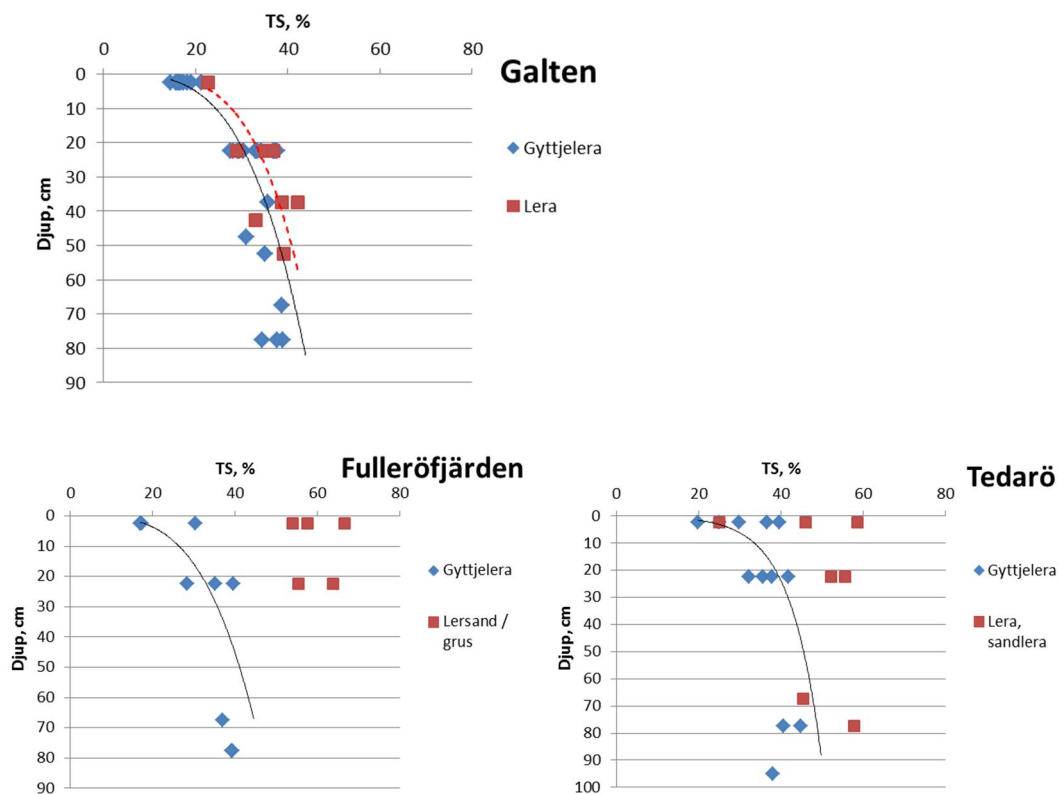
I Linasundet uppvisade två provpunkter förekomst av äldre hård konsoliderad lera samt siltig sand. Därutöver förekom hårda bottenar, troligen sten och grus, som inte kunde provtas.

Kanalén


Bottenarna i kanalen är heterogena men består ytligt ofta av en lerig sand eller sandig lera. På större djup förekommer naturligt isälvs-material såsom sand, silt och grus.

Igelstaviken

I Igelstaviken, precis vid Kanalens utlopp i söder, förekommer både äldre lera och nyare lösare leror med inslag av sand.



Figur 7. Halten av torrsustans (TS) i sediment från olika delområden och i olika typer av sediment.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

6.2 Miljökemi övergripande

Antalet prov som analyserats för respektive parameter eller ämnesgrupp samt andelen prov i vilket de kvantifierats anges i Tabell 5. Närsalter, flertalet metaller och TOC detekterades i alla eller nästan alla prov. Många PAH, PCB, mono- och tributyltenn samt vissa hepta- och oktaklorerade dioxiner och furaner detekterades i en stor andel av proven, men inte i alla. Flertalet av alla analyserade dioxiner och furaner (17 stycken) detekterades bara i något enskilda prov, liksom två- och treningade PAH och övriga tennorganiska föroreningar. För dioxiner redovisas huvudsakligen de två kongenerna OCDD och OCDF, som har hög rapporteringsfrekvens. Vid beräkning av samlad statistik har halter mindre än rapporteringsgränsen ersatts med halva rapporteringsgränsen. Detta har i de flesta fall relativt liten betydelse för medelhalt och standardavvikelse. För ämnen med låg rapporteringsfrekvens ska dock statistiken betraktas med försiktighet.

Av de extra prioriterade ämnena som undersöktes i sex samlingsprov kunde DEHP detekteras i halter om 2 och 3,5 mg/kg ts i prov från norra och södra kanalen. I övrigt förekom inte några av dessa ämnen i halter över respektive rapporteringsgräns.


Tabell 5. Översikt av analysernas omfattning och rapporteringsfrekvens i Mälaren respektive Södertälje kanal. Rapporteringsfrekvensen anger i hur stor andel av de analyserade proven som respektive ämne uppträdde i kvantifierbara halter.

| Ämnesgrupp | Mälaren | | Södertälje kanal | |
|------------------------------|---------|-----------------|------------------|-----------------|
| | Antal | Rapp.frekvens % | antal | Rapp.frekvens % |
| Torrsubstans | 195 | 100% | 122 | 100% |
| Glödgningsförlust | 135 | 100% | | |
| N-tot | 187 | 100% | 29 | 86% |
| P-tot | 195 | 100% | 60 | 100% |
| Metaller | 195 | 98-100% | 121 | 71-100% |
| Kvicksilver | 195 | 64% | 122 | 80% |
| PCDD/F ^A | 69 | 0-94% | 24 | 0-79% |
| Monobutyltenn | 169 | 63% | 48 | 67% |
| Dibutyltenn | 169 | 39% | 48 | 60% |
| Tributyltenn | 169 | 56% | 48 | 73% |
| Övriga tennorg. ämnen (7 st) | 169 | 1-10% | 48 | 2-25% |
| PCB-7 ^B | 84 | 77% | 25 | 60% |
| PAH-16 ^C | 193 | 10-68% | 52 | 30-73% |
| TOC analyserad | 189 | 94% | 46 | 91% |

A. 17 enskilda kongener av klorerade dioxiner och furaner analyserades.

B. Lägre för kongenerna PCB28 och PCB52.

C. Angivna rapporteringsfrekvenser för PAH avser de enskilda föroreningarna.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

6.3 Föroreningsnivåer i Mälarens sediment


6.3.1 Bakgrundshalter i ytsediment och förindustriella halter

Bakgrundshalter i Mälaren beskrivs utifrån 31 prov på ytsediment och listas i Tabell 6, se principer i avsnitt 5.3.2. Det är för flertalet ämnen relativt låg variation i data (se CV-värdet), vilket tyder på låg betydelse av lokala föroreningskällor. Den höga variationen för PAH-16 beror på ett enskilt prov med avvikande hög naftalenhalt. De tennorganiska föroreningarna uppvisar också relativt stora variationer. Eftersom flertalet dioxiner huvudsakligen var lägre än rapporteringsgränsen redovisas här de två vanligast detekterade kongenerna, OCDD och OCDF. Dessutom anges \sum PCDD/F angivet i ng TEQ/kg. Lämpligheten att redovisa dioxinhalter i sediment som toxiska ekvivalenter kan diskuteras, men motiveras här av att det ändå är en vanlig redovisningsform och att det är ont om referensnivåer för svenska dioxiner i sjösediment.

Metallerna uppvisar halter i samma nivå som SGUs data från ytsediment i Mälaren (se bilaga 2). I relation till Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999) så hamnar metallerna huvudsakligen i klass 3 eller lägre. Betydande andelar av proven uppvisar dock halter av krom och zink i klass 4 eller t.o.m. klass 5. Eftersom haltvariationen är låg för Zn och Cr tolkas denna klassning inte som för området särskilt höga halter. Den högre halten beror sannolikt på att analysen är utförd med kungsvattenextraktion, vilket ger något högre halter än den lakning i salpetersyra som bedömningsgrunderna är utformade för, samt regionalt högre halter som betingas av geologiska orsaker.

Av de organiska föroreningarna finns motsvarande bedömningsgrunder för PAH-11 och för PCB-7. Alla PAH-halter i bakgrundsproven hamnar i klass 3 eller lägre och för PCB är 83% i klass 3 eller lägre. TBT-halterna är i nivå med ytsediment från bakgrundslokaler längs Svealandskusten (Sternbeck m fl 2003) och dioxinerna OCDD och OCDF uppträder i lägre halter än i centrala Östersjön (Naturvårdsverket, 2009).

Som ytterligare mått på ytsedimentens föroreningsgrad kan dessa halter jämföras med förindustriella halter. I områden med sedan lång tid omfattande sedimentation påträffas förindustriella sediment på större sedimentdjup, ofta djupare än en meter. Men det förekommer också områden där sådana sediment påträffas på ca 50 cm djup. Alla prov som klassats som lera, har TOC-halt längre än ca 1%, och är djupare än ca 50 cm har här använts som ungefärligt mått på förindustriella halter. Inom föreliggande undersökning faller 20 prov från Mälaren inom denna grupp. Haltvariationen är mycket låg i dessa prov. Föroreningar såsom TBT, PCB, PAH och Hg kunde generellt inte detekteras i dessa prov, vilket styrker uppfattningen att det rör sig om äldre prov.


| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Det ska dock nämnas att undersökningar från denna region påvisat förhöjda metallhalter även i sediment avsatta innan 1800-talet (Bindler m. fl., 2009). Detta förklarades med spridning från tidig gruvverksamhet. Begreppet förindustriella halter bör därför inte sättas som synonymt med naturliga halter.

Medelhalter för dessa s.k. förindustriella prov återges i Tabell 7. De jämförs där också med prover från 1-1,5 meters djup i Västeråsfjärden (Jonsson, 2014). Värdena är närmast identiska för nickel, bly, zink och kvicksilver. Halterna av koppar och krom är något högre här än i Jonssons djupare prov. Detta kan delvis återspegla att extraktionsmetoderna skiljer sig åt mellan dessa två studier. SGU har i naturliga jordprover visat att en liknande skillnad kan förväntas (sammanställt i SGI, 2009).


Medianhalterna i ytsediment och i de förindustriella proven plottas mot varandra i Figur 8. Krom och nickel uppvisar i stort sett identiska halter i de två grupperna, vilket visar att Mälarens ytsediment inte är förorenade avseende dessa metaller. Koppar, bly, kadmium, zink samt kväve och fosfor är något förhöjda i ytsedimenten, en effekt av diffus belastning samt övergödning. De organiska föreningarna uppvisar en större grad av anrikning i ytsedimenten, beroende på att dessa ämnen sprids storskaligt men inte bör förekomma i förindustriella sediment. Anrikningsgraden för de organiska föreningarna ska endast tolkas som indikativ, eftersom dessa ämnen i stort sett inte förekommer naturligt, eller endast i mycket låga halter. Såsom diskuteras ovan uppvisar de organiska föreningarna i ytsedimenten från dessa bakgrundsområden inga markanta tecken på lokal påverkan.

Den sammanlagda slutsatsen är att de prov som valts ut som representerande bakgrundstillståndet i västra Mälaren har en låg till måttlig föroreningsgrad, och att de därmed är lämpliga som jämförelsemått för muddermassornas föroreningshalter.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Tabell 6. Bakgrundshalter i Mälarens ytsediment (n=31). CV anger den relativa standardavvikelsen och är ett mått på variationen i data. Alla halter anges per torrsubstans.

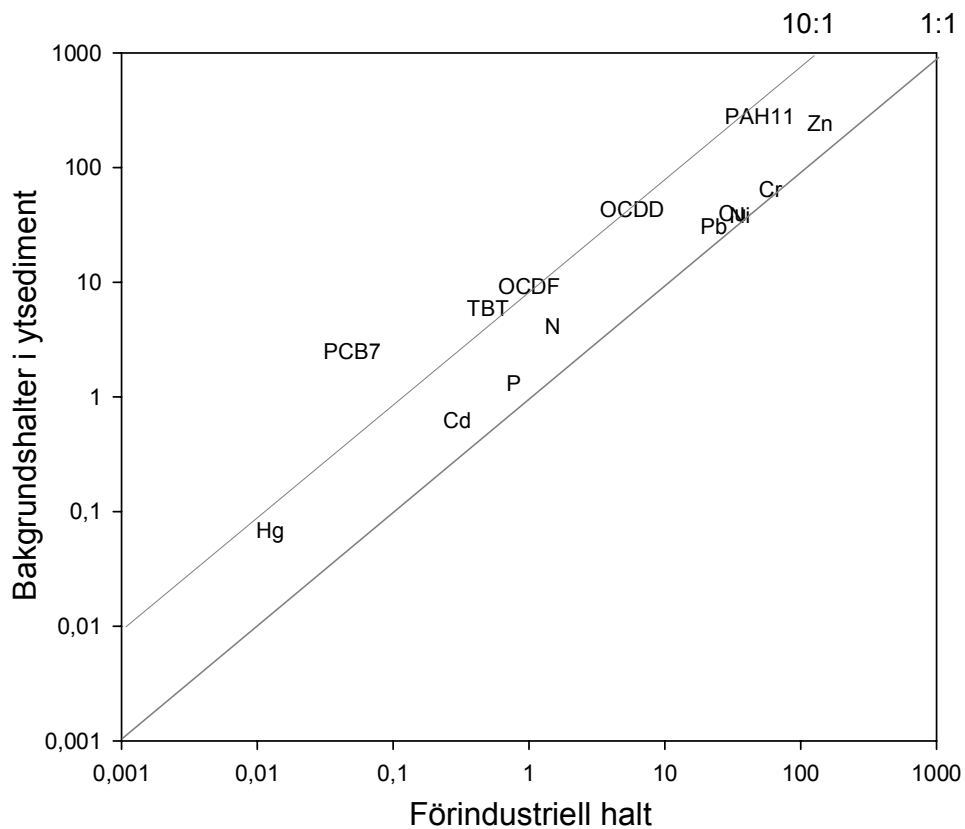
| Förorening | Enhet | Median | Medel | Max | CV |
|-------------|--|--------|--------|---------|------|
| N-tot | g/kg | 4,1 | 3,7 | 6,5 | 35% |
| P-tot | g/kg | 1,3 | 1,2 | 1,5 | 19% |
| Arsenik | mg/kg | 7,3 | 7,5 | 14 | 19% |
| Bly | mg/kg | 31 | 34 | 55 | 29% |
| Kadmium | mg/kg | 0,62 | 0,59 | 0,88 | 26% |
| Koppar | mg/kg | 40 | 44 | 89 | 35% |
| Krom | mg/kg | 65 | 64 | 82 | 18% |
| Nickel | mg/kg | 38 | 37 | 51 | 14% |
| Zink | mg/kg | 240 | 240 | 340 | 25% |
| Kvicksilver | mg/kg | 0,069 | 0,067 | 0,12 | 40% |
| OCDD | ng/kg | 43 | 41 | 73 | 37% |
| OCDF | ng/kg | 9,1 | 10 | 28 | 62% |
| ∑PCDD/F | ng WHO-TEQ/kg lower bound-upper bound | <2-6,6 | <2-6,8 | 2,8-7,9 | – |
| MBT | µg/kg | 9,4 | 16 | 63 | 100% |
| DBT | µg/kg | 2,0 | 3,2 | 11 | 97% |
| TBT | µg/kg | 5,9 | 9,8 | 32 | 94% |
| PCB-7 | µg/kg | 2,5 | 2,8 | 6,4 | 47% |
| PAH-11 | µg/kg | 280 | 290 | 750 | 52% |
| PAH-16 | µg/kg | 403 | 534 | 3800 | 120% |

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |


Tabell 7. Ungefärliga "förindustriella" halter i västra Mälaren sediment.

| Ämne | Enhet | Medel | Median | Västeråsfjärden ^A |
|-------------|-------|-------|---------|------------------------------|
| N-tot | g/kg | 1,2 | 1,5 | |
| P-tot | g/kg | 0,76 | 0,78 | |
| Bly | mg/kg | 25 | 23 | 30 |
| Kadmium | mg/kg | 0,31 | 0,30 | 0,23 |
| Koppar | mg/kg | 37 | 32 | 26 |
| Krom | mg/kg | 57 | 60 | 53 |
| Nickel | mg/kg | 35 | 36 | 34 |
| Zink | mg/kg | 139 | 140 | 134 |
| Kvicksilver | mg/kg | 0,029 | < 0,025 | <0,04 |
| OCDD | ng/kg | 6,4 | 5,8 | |
| OCDF | ng/kg | 1 | 1 | |
| TBT | µg/kg | <1 | <1 | |
| PCB-7 | µg/kg | 0,20 | <0,1 | |
| PAH-11 | µg/kg | 160 | <100 | |

A. Jonsson (2014).



Figur 8. Förhållande mellan halter i Mälarens ytsediment och ungefärliga förindustriella halter. Varje ämne representeras av sin medianhalt. Linjen 1:1 representerar förhållandet när det inte råder någon skillnad mellan föroreningsnivåerna. Linjen 10:1 representerar förhållandet om ytsediment i bakgrundsområden vore 10 gånger mer förorenade än förindustriella halter. Följande enheter används i figuren: metaller, mg/kg; PCB, PAH och TBT, µg/kg; N och P, g/kg; dioxiner, ng/kg. De förindustriella halterna av PCB, TBT, OCDF och OCDD representeras av halva rapporteringsgränsen.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

6.3.2 Ytsediment i Mälarens muddrområden

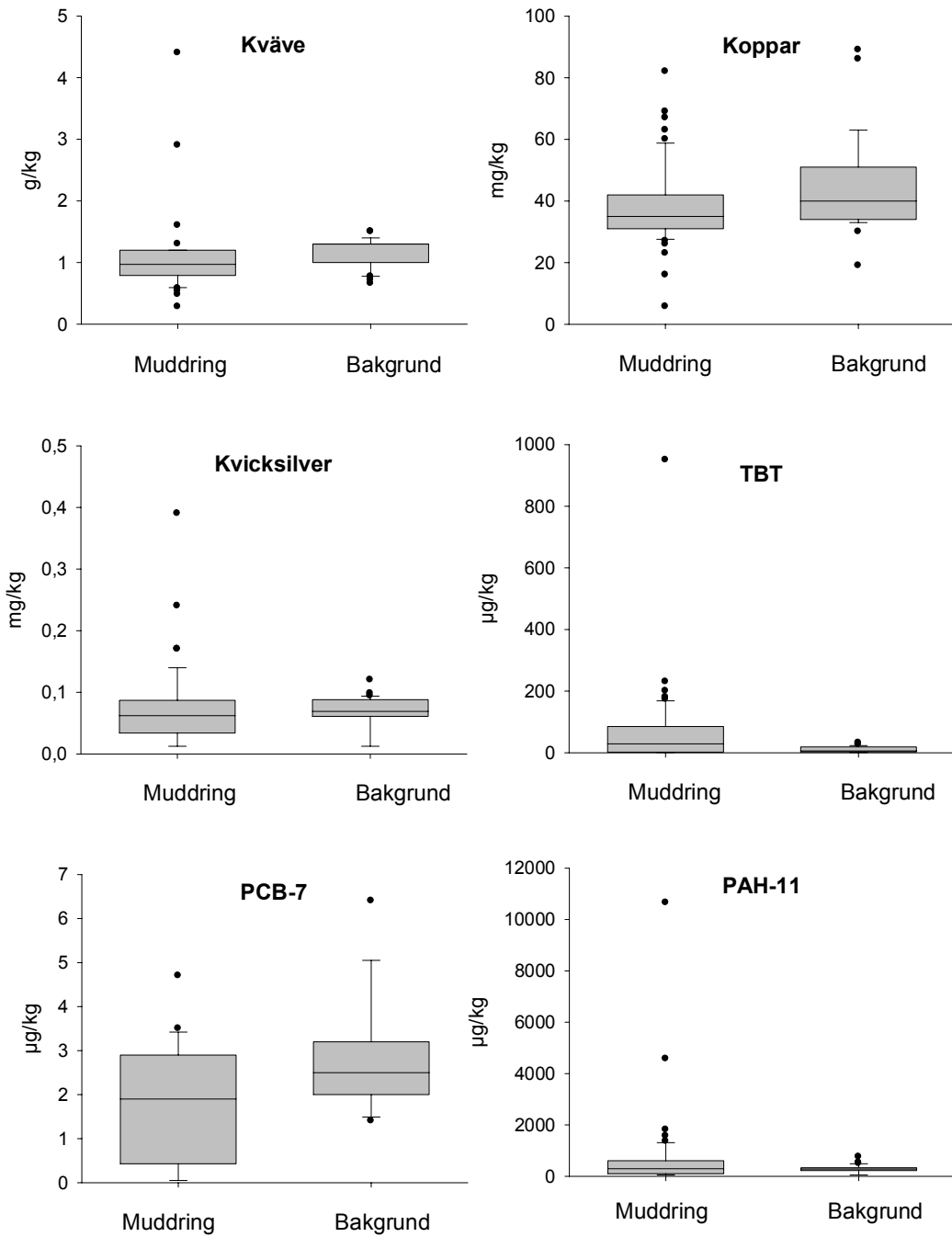
Halterna i ytsedimenten i Mälarens muddrområden uppvisar för flertalet ämnen måttliga variationer. Den statistiska fördelningen av föroreningshalter i ytsediment från muddringsområden jämförs med motsvarande i bakgrundsområden för några utvalda föroreningar (Figur 9). Kväve, koppar och kvicksilver uppvisar förhöjda halter i några få prov men uppvisar inga generella tecken på att vara förhöjda över lokal bakgrund. Samma slutsats gäller även för fosfor och övriga undersökta metaller. PCB uppvisar en tydlig tendens till lägre halter i muddringsområden än i bakgrundsområdena. För PAH och särskilt TBT förefaller en del av proven uppvisa lokalt förhöjda halter.

Denna jämförelse har också kompletterats med en statistisk analys, genom t-test eller rank-sum-test. Flertalet ämnen uppvisar då en tendens till något lägre halter i muddringsområden jämfört med bakgrundsområdena. Skillnaderna är dock små. För bly, PAH-11 och OCDD¹ kan ingen generell skillnad påvisas. Den enda föroreningen som statistiskt är något högre i muddringsområden är TBT. Detta beror framförallt på de förhöjda halterna i Köpingrännan.

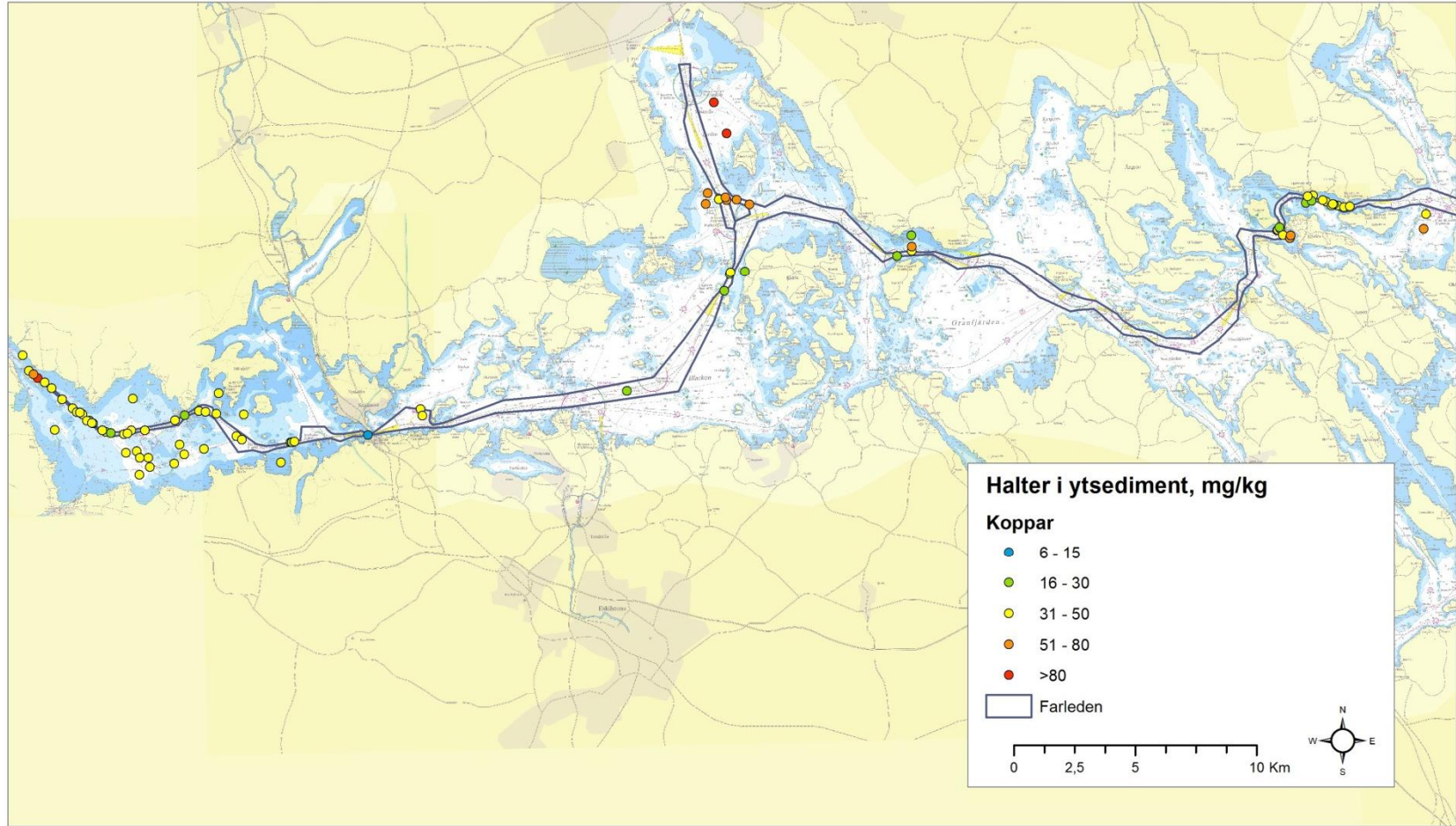
De geografiska haltvariationerna i ytsediment illustreras för koppar, TBT och PAH i Figur 10- Figur 12. Det är tydligt att koppar inte uppvisar några särskilda rumsliga mönster, bortsett från en tendens till något högre halter i Västeråsfjärden. Högre kopparhalter har också påvisats längre norrut i Västeråsfjärden (t.ex. Jonsson, 2014). Det föreligger heller ingen systematisk skillnad mellan muddringsområden och övriga områden. Övriga undersökta metaller uppvisar liknande resultat som koppar.

Utanför Galten varierar halterna av TBT oregelbundet och inga anmärkningsvärda halter förekommer. I Galten uppträder dock högre TBT-halter i farleden i den s.k. Köpingrännan i västra Galten. PAH uppträder än mer oregelbundet men huvudsakligen i vad som enligt Naturvårdsverket (1999a) kan beskrivas som låga till medelhöga halter. Höga till mycket höga halter förekommer främst på vissa platser i Köpingrännan.

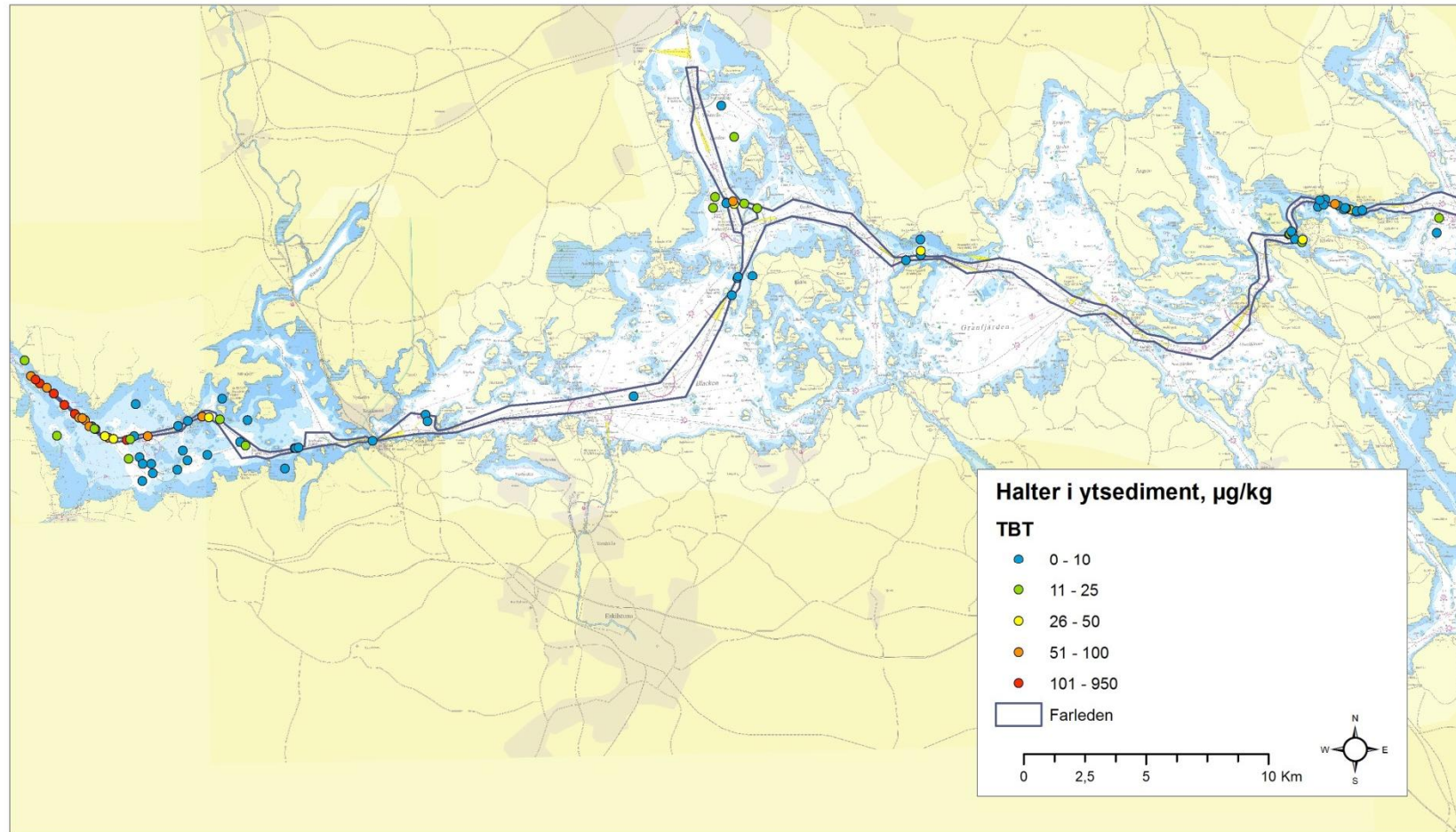
¹ OCDD och OCDF betyder oktaklordibensodioxin och oktaklordibensofuran. Detta är de två dioxiner som detekterats i flest prov och används därför som indikator för gruppen dioxiner, där många ämnen blott detekterats i ett fåtal prov.



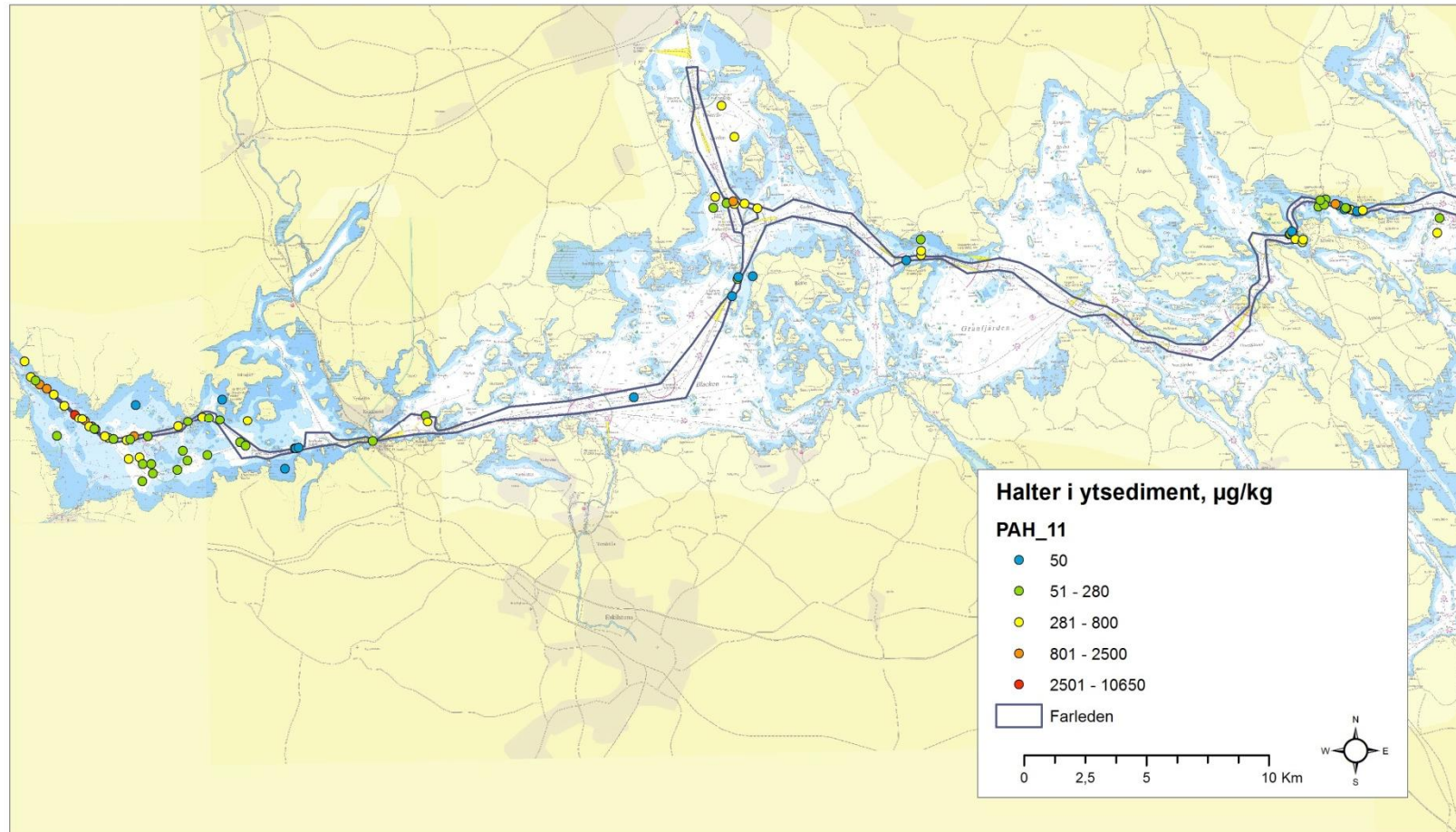
Figur 9. Halter i ytsediment från muddrings- och bakgrundsområden i Mälaren.




Figur 10. Kopparhalter i ytsediment från Mälaren. Halterna anges per torrsubstans.



Figur 11. TBT-halter i ytsediment från Mälaren. Halterna anges per torrsubstans.



Figur 12. PAH-halter i ytsediment från Mälaren. Halterna anges per torrsubstans.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

6.3.3 Djupvariationer och medelhalter

I de enskilda provpunkterna föreligger ofta en skillnad i halter mellan ytsediment och djupare skikt. En parvis jämförelse av alla data i muddringsområdena visar att halterna av kväve, fosfor och TOC generellt är något högre i ytsedimenten än på 20-25 cm djup. Detta är förväntat eftersom organiskt material bryts ned i sedimenten, och halterna bör således minska mot djupet. Även för butyltennföreningarna föreligger lägre halter mot djupet, vilket sannolikt beror på den nedbrytning som sker av butyltennföreningar i sediment.


För metaller och övriga undersökta organiska föreningar finns dock ingen *generellt* påvisbar haltskillnad mellan dessa sedimentnivåer. För t.ex. PAH är det ca en tredjedel av provpunkterna där halterna är högre i nivån 20-25 än vid ytan. För PCB råder det omvända förhållandet. Det finns således områden där de djupare sedimenten är mer förorenade och andra områdena där djupare sediment är renare. Dessa förhållanden kan variera inom delområden och dessutom mellan olika föreningar vid samma provpunkt. Därför, och med tanke på de generellt låga till måttliga muddringsdjupen, medianvärde ca 0,5 m, bedöms det inte föreligga stora möjligheter eller behov av att skilja på muddermassor från olika djup.

Vid klassning av föroreningsnivåer i olika muddringsområden har därför djupintegrerade medelhalter beräknats. I bilaga 3 illustreras dessa halter för koppar, bly, PAH-11 och TBT. Det framgår åter att metaller uppträder i relativt låga halter och utan systematiska mönster. För PAH och TBT är det också tydligt att systematiskt förhöjda halter uppträder i Köpingsrännan.

6.4 Föroreningsnivåer i sediment kring Södertälje kanal

6.4.1 Bakgrundshalter

För områdena runt Södertälje kanal är underlaget för att bedöma bakgrundshalter i ytsediment mer begränsat än i Mälaren. Det rör sig om åtta provpunkter som representerar påverkansområden och planerade dumpningsområden. Halterna av kvicksilver, OCDD, OCDF, butyltennföreningar, PCB och PAH är tydligt förhöjda i flera av dessa prov. Halterna av dessa ämnen uppvisar betydande variationer varför endast min och max-halter redovisas (Tabell 8). Flera prov uppvisar halter som motsvarar klass 4-5 enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (dvs höga till mycket höga halter; Naturvårdsverket, 1999a). Begreppet bakgrundshalter bör därför tolkas i ett mycket lokalt perspektiv och slutsatsen är att bottnarna kring Södertälje kanal allmänt är förorenade. Tidigare undersökningar i området har särskilt inriktats mot förekomsten av kvicksilver i områdena norr om själva kanalen (t.ex. Sternbeck m.fl 2005).

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |


Tabell 8. Bakgrundshalter i ytsediment söder och norr om Södertälje kanal (n=8). Halterna anges per torrsubstans.

| Förorening | Enhet | Min | Max |
|-------------|--|----------|---------|
| N-tot | g/kg | 1,7 | 6,7 |
| P-tot | g/kg | 0,45 | 0,94 |
| Arsenik | mg/kg | 4,5 | 8,6 |
| Bly | mg/kg | 23 | 52 |
| Kadmium | mg/kg | 0,28 | 1,6 |
| Koppar | mg/kg | 31 | 64 |
| Krom | mg/kg | 36 | 63 |
| Nickel | mg/kg | 15 | 35 |
| Zink | mg/kg | 130 | 230 |
| Kvicksilver | mg/kg | 0,065 | 4,8 |
| OCDD | ng/kg | 87 | 430 |
| OCDF | ng/kg | 18 | 65 |
| ∑PCDD/F | ng WHO-TEQ/kg lower bound-upper bound | <2 – 6,6 | 14 - 16 |
| MBT | µg/kg | 4,6 | 84 |
| DBT | µg/kg | 5,7 | 270 |
| TBT | µg/kg | 30 | 240 |
| PCB-7 | µg/kg | 3,6 | 45 |
| PAH-11 | µg/kg | 285 | 7000 |
| PAH-16 | µg/kg | 350 | 8000 |

6.4.2 Ytsediment i kanalens muddringsområden

Halterna av PAH, TBT, kvicksilver och koppar i ytsediment (0-5 cm; 0-10 cm) illustreras i Figur 13-Figur 16. Halterna präglas av betydande småskaliga variationer, sannolikt förklaras variationen av skillnader i avsättningsförhållanden och sedimentologi. PAH uppträder i mycket höga halter (> 2500 µg/kg ts) i delar av norra kanalens ytsediment samt i Igelstaviken. Höga PAH-halter (800-2500 µg/kg ts) förekommer ytligt även i andra muddringsområden och i föreslagna dumpningsområden norr om kanalen och i Hallsfjärden.

TBT uppträder också med påtagligt varierande halter i ytsedimenten. Höga eller mycket höga TBT-halter uppträder i Hallsfjärden söder om kanalen, samt i Igelstaviken. På många platser i och norr om kanalen är halterna av TBT låga. Kvicksilver är en sedan länge känd

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

förorening i denna trakt, till följd av industriella utsläpp runt mitten av 1900-talet. Det är därför känt att halterna är mycket höga norr om kanalen (Sternbeck m. fl 2005). Ytsedimenten i denna undersökning visar att halter av kvicksilver över 1 mg/kg uppträder på flera platser i kanalen, i Hallsfjärden liksom i dumpningsområdet norr om kanalen. Koppar i ytsediment uppträder huvudsakligen i låga till måttligt höga halter, vilket också gäller för flera andra metaller.

6.4.3 Variationer med sedimentdjupet


Halter i muddringsområdena i Södertälje kanal varierar med sedimentdjupet. Här beskrivs de föroreningar som uppträder i höga till mycket höga halter i ytsediment från muddringsområdena, dvs främst kvicksilver och PAH.

Både norra och södra kanalen består av flera avgränsade muddringsområden. Föroreningsituationen är relativt heterogen i både plan och profil. Höga till mycket höga halter av kvicksilver och PAH förekommer oregelbundet ned till ca 60 cm djup. Prover på 70-130 cm djup har huvudsakligen låga till medelhöga halter av dessa ämnen, dvs Hg < 0,4 mg/kg ts och PAH-11 < 800 µg/kg ts.

I Igelstaviken består massorna av både gyttjelera och lera samt inslag av sand. Det är mycket tydligt att föroreningarna uppträder i gyttjelera men inte i lera. I provpunkter med gyttjelera uppträder kvicksilver och PAH således i mycket höga halter ned till som mest ca 50 cm.

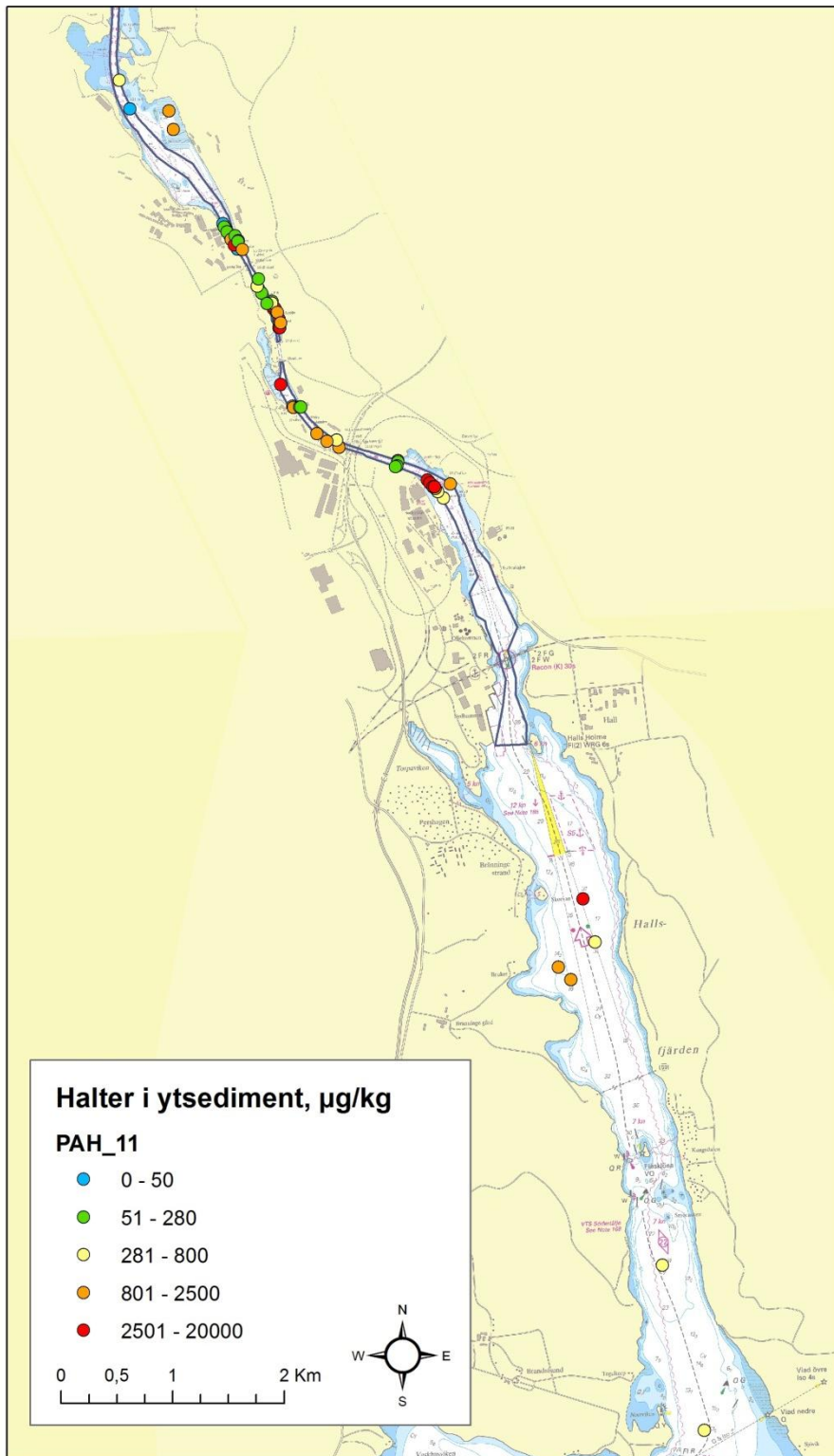
6.4.4 Halter i olika sedimenttyper

I Södertälje kanal med omgivning kan sedimenten i de undersökta provpunkterna grovt beskrivas i tre kategorier: friktionsmaterial såsom sand, grus, sandig lera, etc; gyttjelera samt lera. En analys av hur föroreningsnivåerna varierar mellan dessa olika sedimenttyper kan vara värdefull i det fortsatta arbetet med att planera och projektera muddring och dumpning. En statistisk beskrivning ges i Tabell 9 för de i Södertäljeområdet viktigaste föroreningarna. Det framgår tydligt att lera, som vanligen kan identifieras visuellt, har mycket låga föroreningsnivåer. Det är också tydligt att friktionsmaterial och gyttjelera har mycket variabla och delvis höga föroreningsnivåer.

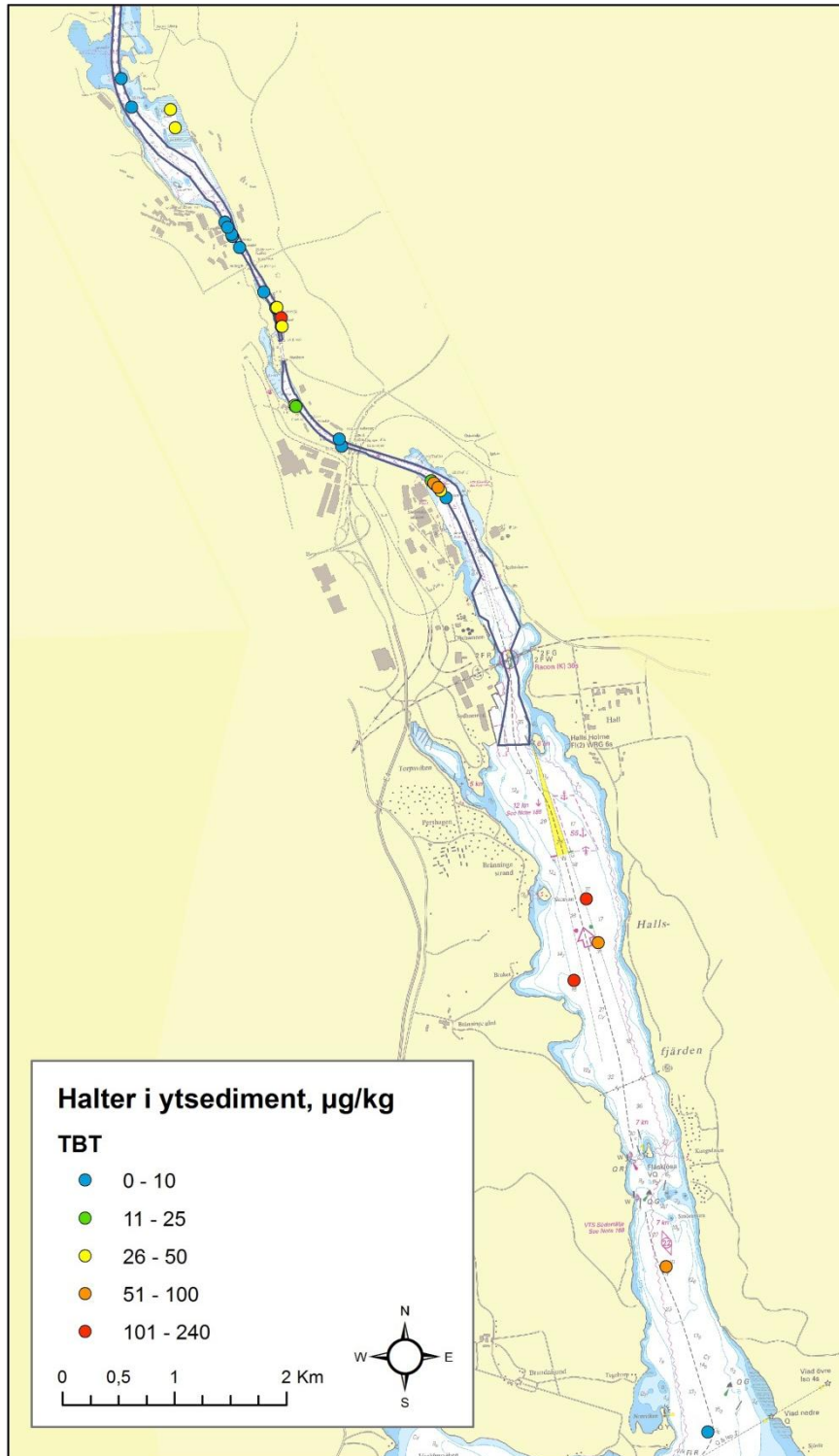
| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarlederna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Tabell 9. Statistisk beskrivning av föroreningsnivåer i olika sedimenttyper i Södertälje kanal. Hg, mg/kg; OCDD/F, ng/kg; TBT och PAH, µg/kg. Alla halter anges per torrsubstans. Alla halter under rapporteringsgränsen har ersatts med halva rapporteringsgränsen.

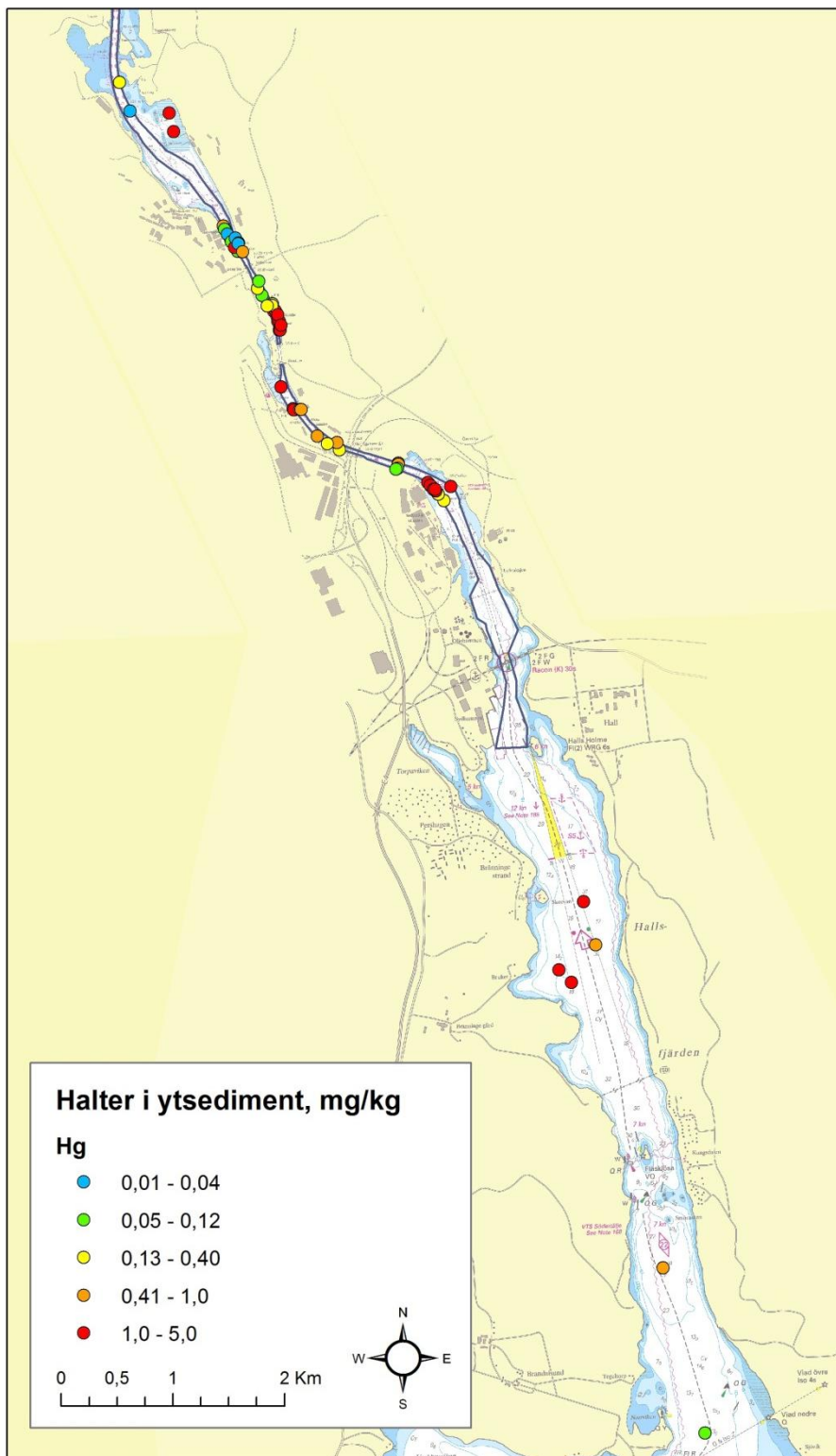
| Sedimenttyp | Ämne | antal | medel | CV % | Min | Max | Median | 25% | 75% |
|-------------------|--------|-------|-------|------|--------|-------|--------|--------|--------|
| Friktionsmaterial | Hg | 75 | 0,88 | 128% | <0,025 | 4,3 | 0,33 | 0,058 | 1,4 |
| Gyttjelera | Hg | 32 | 3,5 | 180% | 0,036 | 35 | 2,0 | 0,8 | 3,1 |
| Lera | Hg | 14 | 0,058 | 270% | <0,025 | 0,6 | <0,025 | <0,025 | <0,025 |
| Friktionsmaterial | OCDD | 23 | 56 | 202% | <2 | 400 | 15,5 | 3,6 | 40 |
| Gyttjelera | OCDD | 17 | 163 | 202% | 20 | 430 | 120 | 89 | 210 |
| Lera | OCDD | 8 | 1,1 | 20% | <2 | 1,5 | <2 | <2 | <2 |
| Friktionsmaterial | OCDF | 23 | 15 | 165% | <2 | 90 | 6,1 | 2,2 | 18 |
| Gyttjelera | OCDF | 17 | 29 | 165% | 12 | 65 | 25 | 18,5 | 34 |
| Lera | OCDF | 8 | 3 | 92% | <2 | 6,5 | <2 | <2 | 5 |
| Friktionsmaterial | PAH-11 | 75 | 1500 | 190% | <75 | 20000 | 330 | 75 | 2000 |
| Gyttjelera | PAH-11 | 32 | 2500 | 100% | 75 | 11700 | 1800 | 750 | 3800 |
| Lera | PAH-11 | 14 | 140 | 140% | <75 | 680 | 75 | <75 | 77 |
| Friktionsmaterial | TBT | 32 | 23 | 141% | <1 | 140 | 6,9 | 1 | 35 |
| Gyttjelera | TBT | 20 | 64 | 141% | 2,8 | 240 | 52 | 17 | 87 |
| Lera | TBT | 9 | 1,4 | 132% | <1 | 5 | <1 | <1 | 1,2 |




Figur 13. PAH-halter i Södertälje kanals ytsediment. Halterna anges per torrsubstans.



Figur 14. TBT-halter i Södertälje kanals ytsediment. Halter anges per torrsubstans.



Figur 15. Kvicksilverhalter i Södertälje kanals ytsediment. Halter anges per torrsubstans.

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

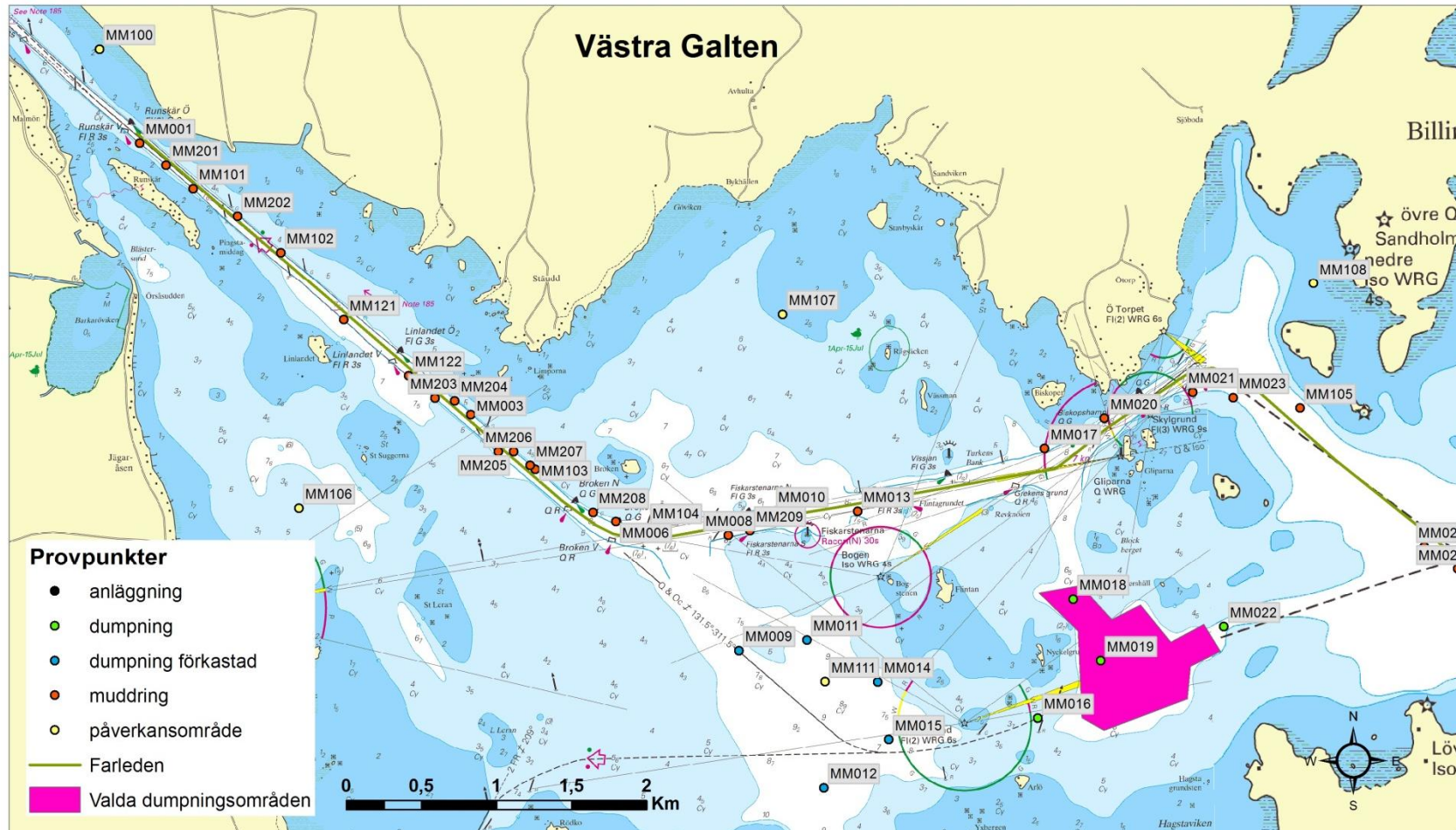
7 Referenser

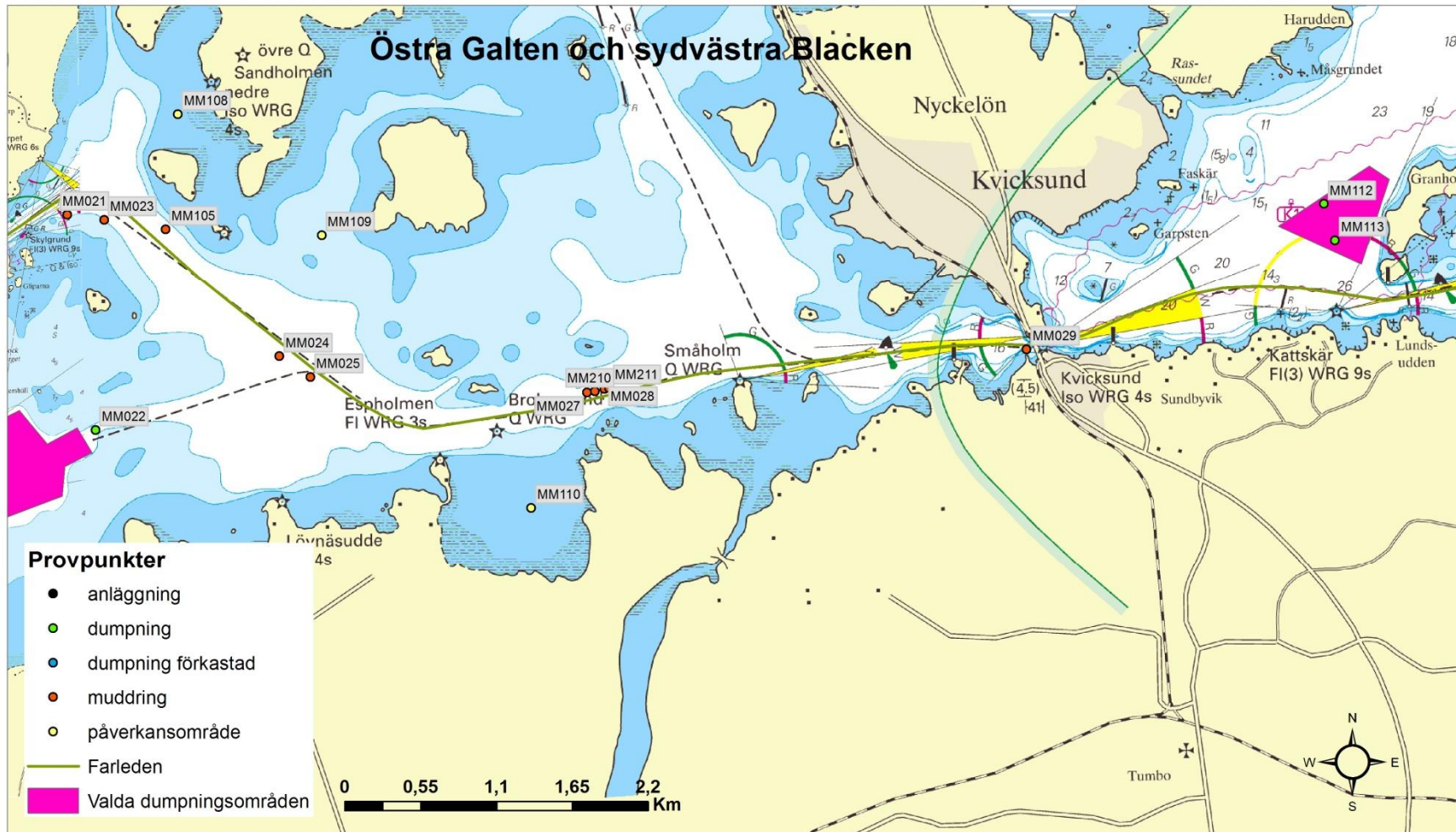
- Bindler R., Renberg I., Rydberg J. och Andrén T. (2009) Widespread waterborne pollution in central Swedish lakes and the Baltic Sea from preindustrial mining and metallurgy. Environ. Poll. 157, sid. 2132-2141.
- Calluna (2014) Mälärprojektet - Konsekvenser för yrkes- och fritidsfisket samt för fiskebestånd.
- Jonsson P (2014) Regionala bakgrundshalter av metaller i Västeråsfjärden. JP Sedimentkonsult, 2014-02-21.
- Naturvårdsverket (1999a) Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – kust och hav. Rapport 4914.
- Naturvårdsverket (1999b) Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – sjöar och vattendrag. Rapport 4913.
- Naturvårdsverket (2009) Sources, transport, reservoirs and fate of dioxins, PCBs and HCB in the Baltic Sea environment. Rapport 5912.
- Naturvårdsverket (2010) Muddring och hantering av muddermassor. Vägledning om tillämpningen av 11 och 15 kapitlet miljöbalken. Miljörettsavdelningen 2010-02-18.
- SGI (2009) Metoder för haltbestämning av huvud- och spårelement och PAH i jord och avfall.
- Sonesten L. m. fl. (2013) Mälaren – tillståndsutvecklingen 1965-2011. Mälarens Vattenvårdsförbund.
- Sternbeck, J., Brorström-Lundén, E., Remberger, M., Kaj, L., Palm, A., Junedahl, E. & Cato, I. (2003) WFD Priority substances in sediments from Stockholm and the Svealand coastal region. IVL-Rapport B 1538, Stockholm.
- Sternbeck J., Munthe J. och Viktor T. (2005) Risk assessment of sedimentary mercury at Snäckviken, Södertälje channel IVL rapport B1630.
- WSP (2014a) Mälärprojektet: Konsekvenser för vatten- och naturmiljön i Mälaren och Södertälje.
- WSP (2014b) Alternativredovisning för hantering av muddermassor.
- WSP (2014c) Mälärprojektet - Konsekvenser för Naturmiljön.
- Östlund, P., Sternbeck, J. och Brorström-Lundén, E. (1998) Metaller, PAH, PCB och totalkolväten i sediment runt Stockholm – flöden och halter. IVL rapport B 1297.

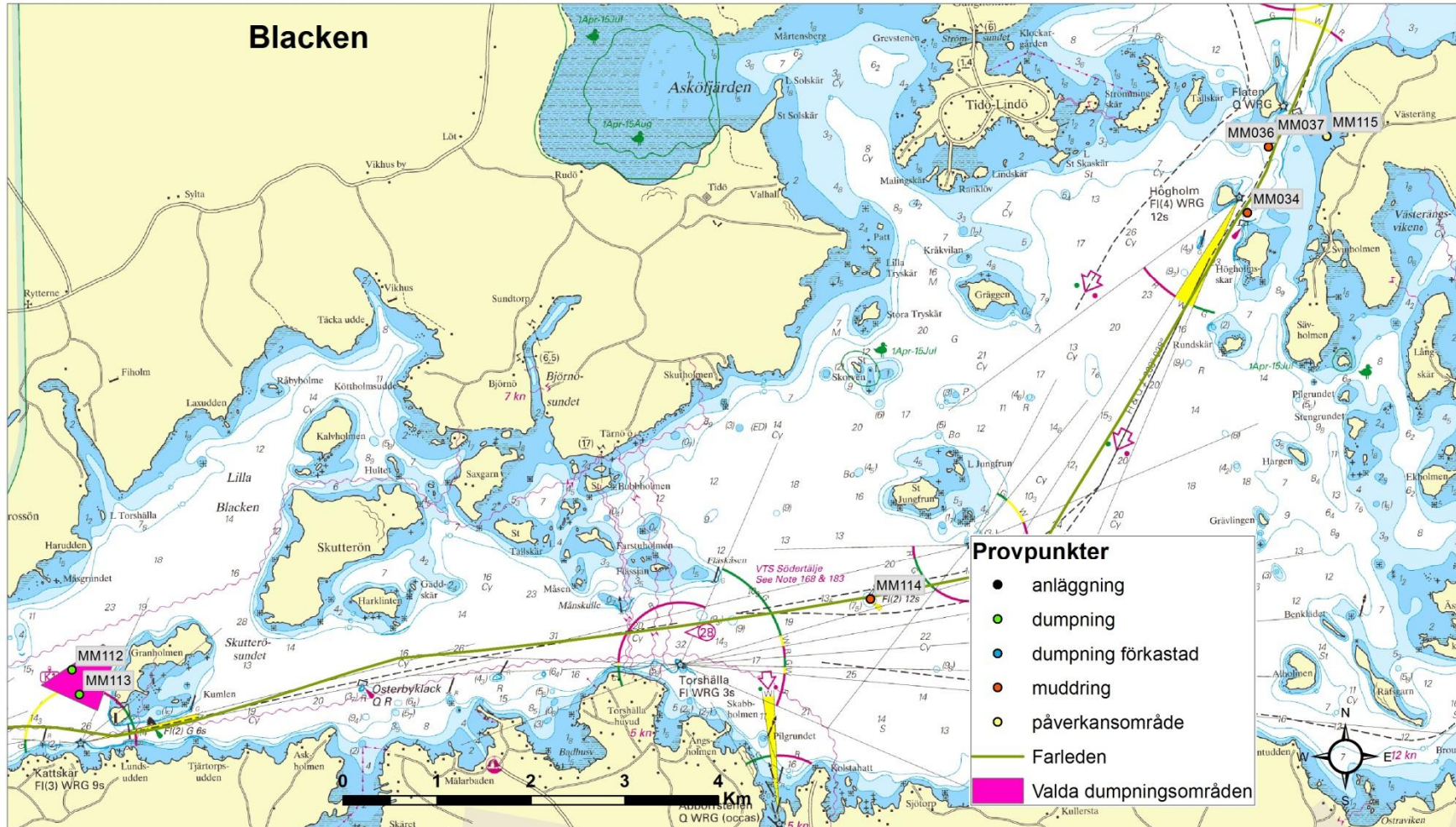
WSP, februari 2015

John Sternbeck

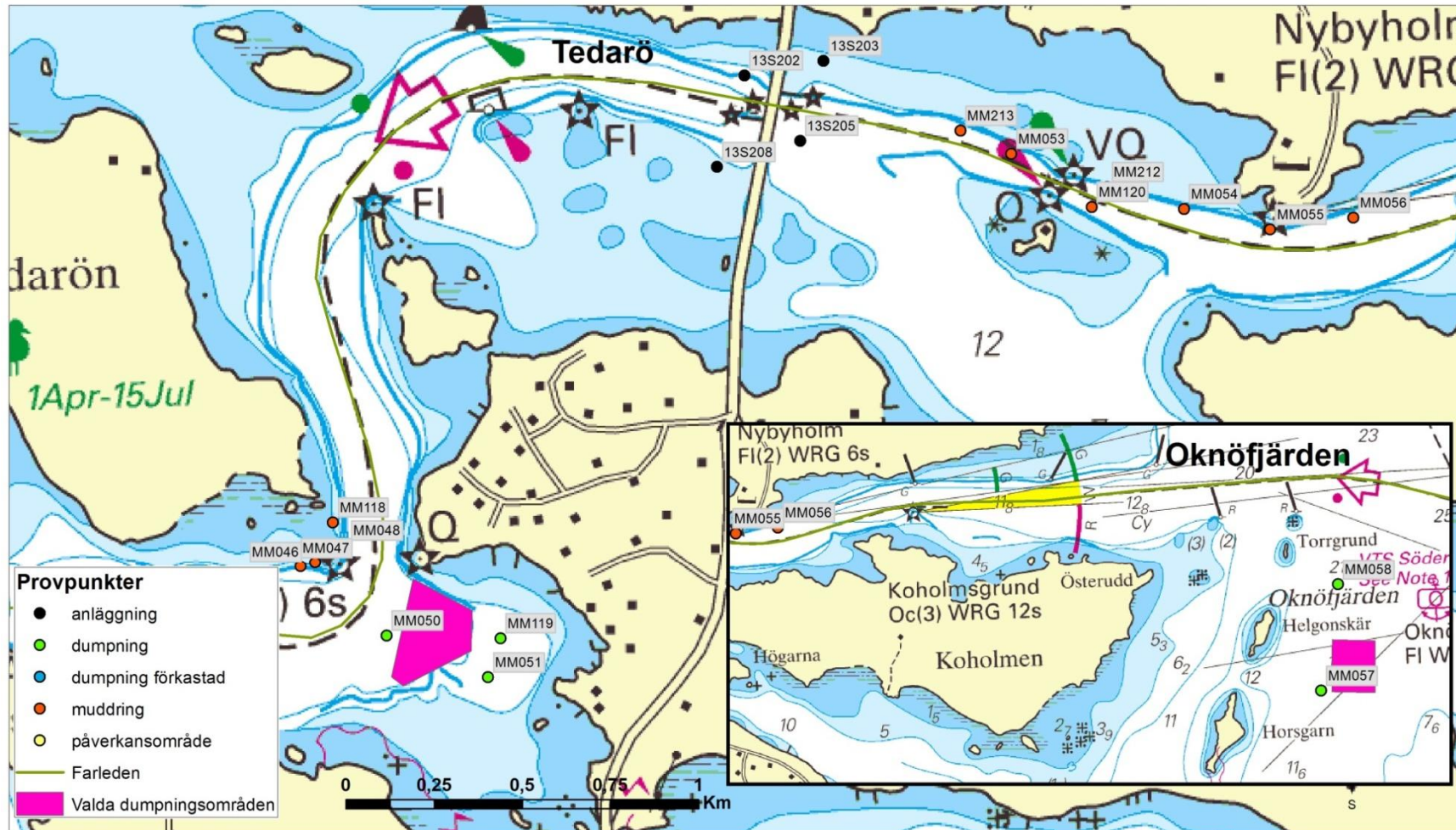
Bilaga 1. Provpunkter

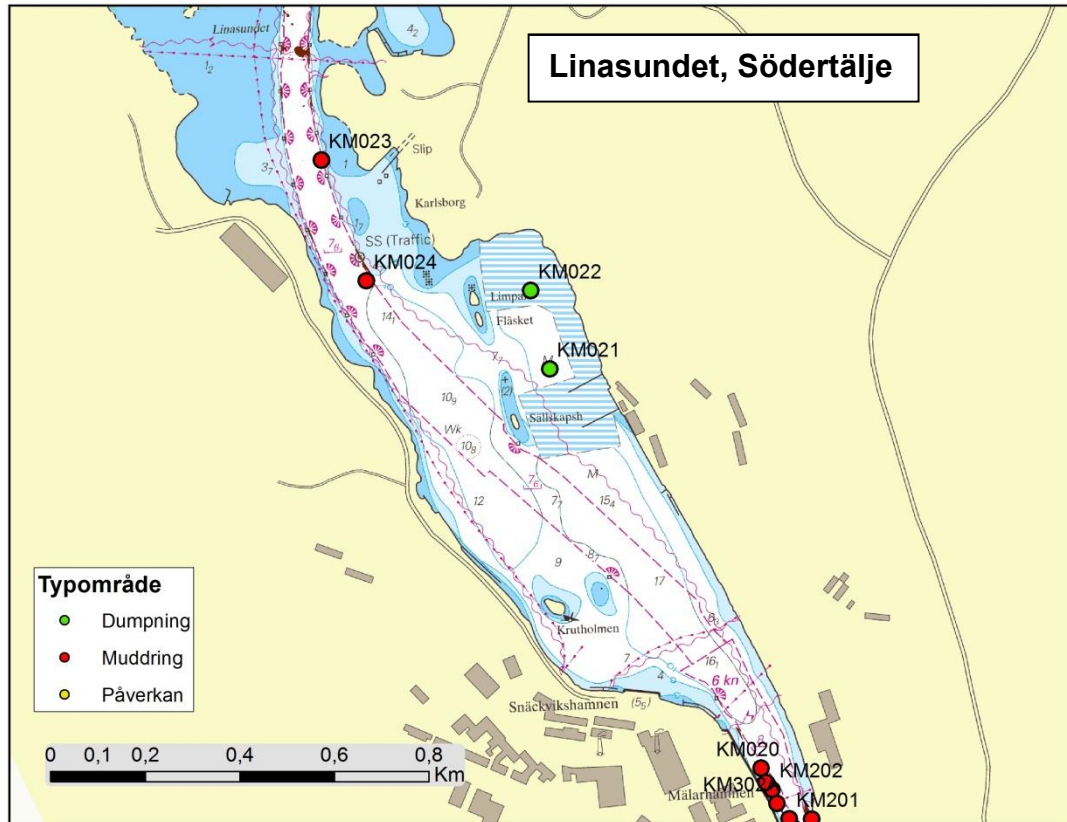


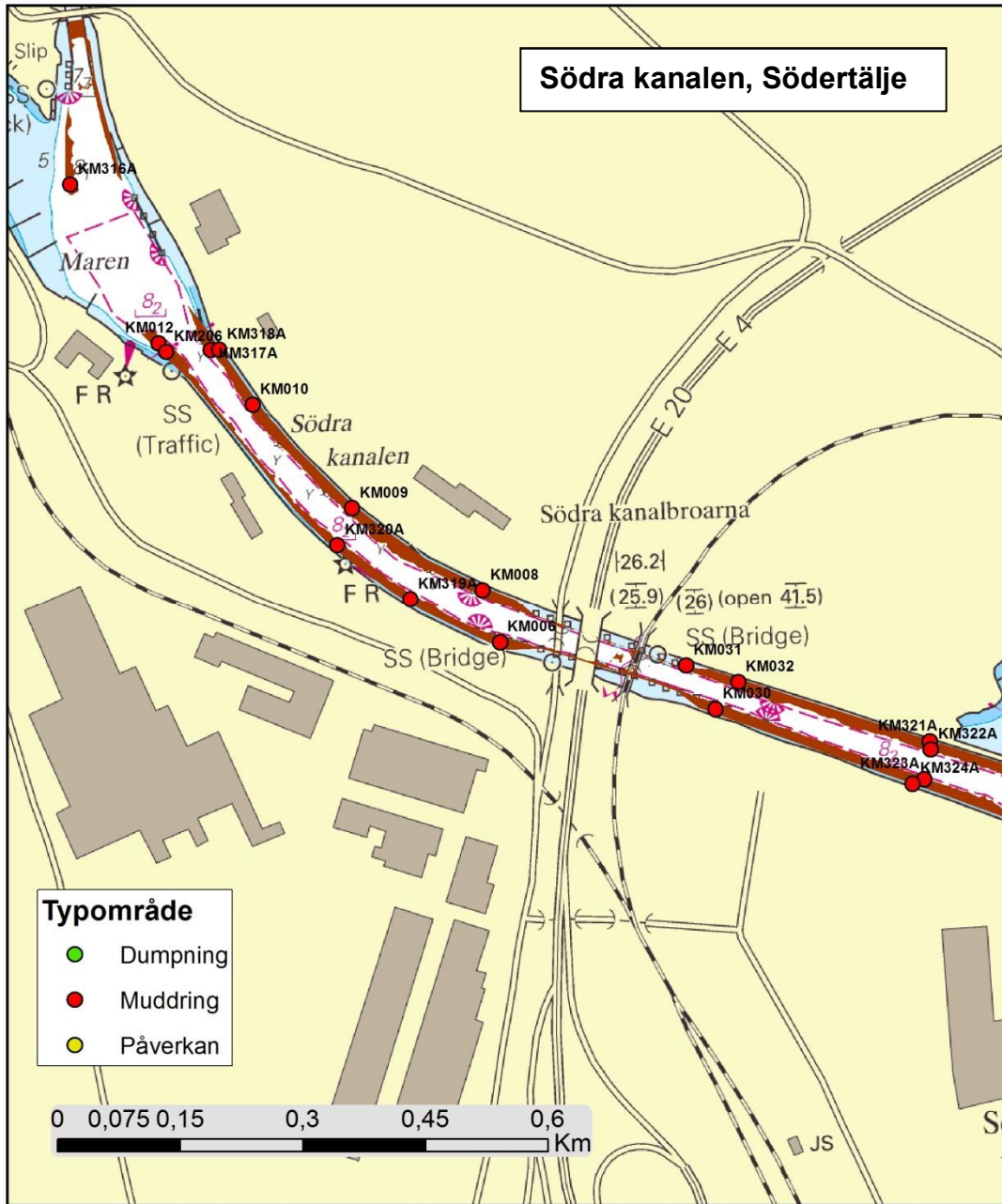


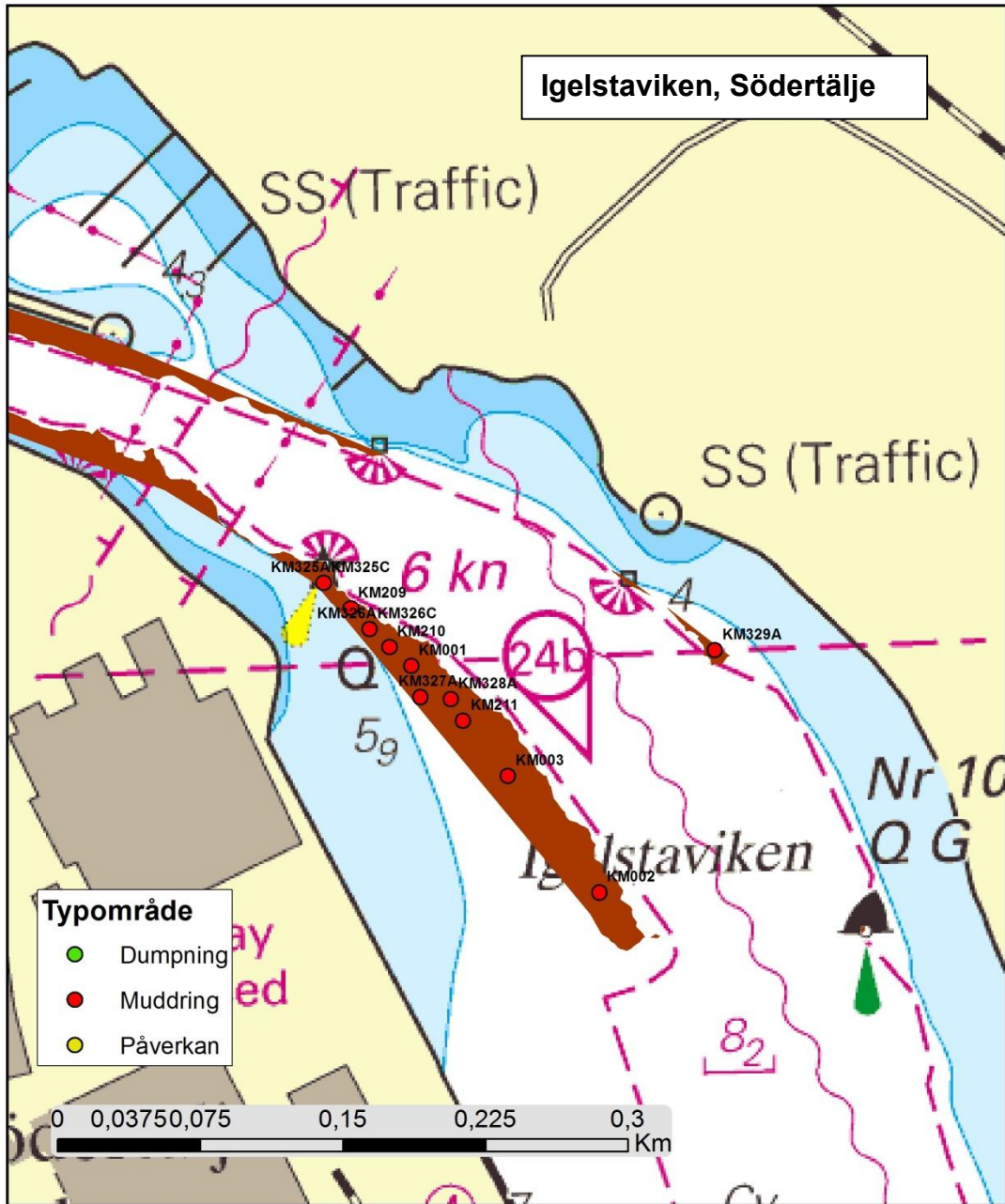




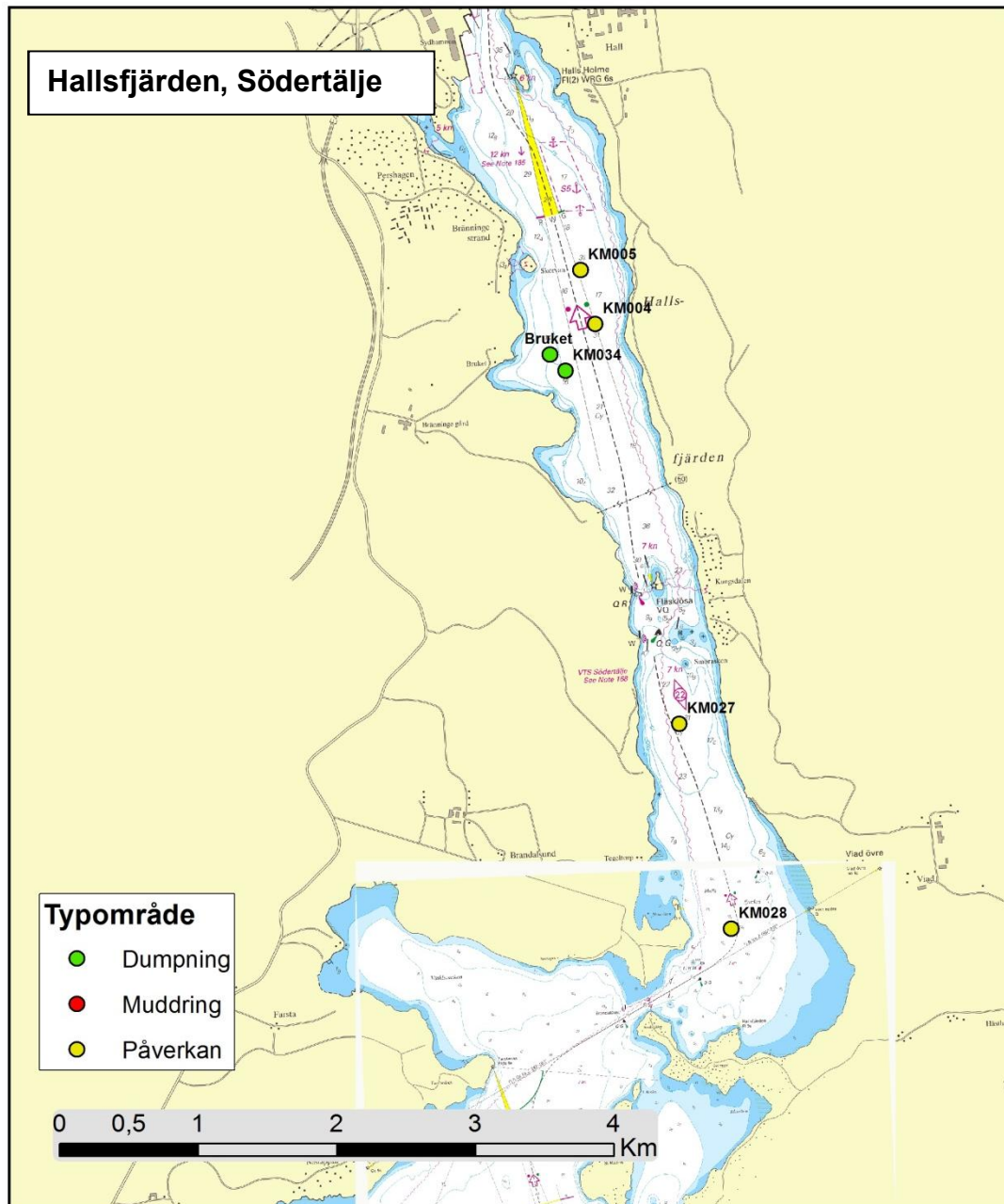









R:\3656\101650001\10165510\C. Sedimentundersökning2-Utkast, PM mm\Rapport
sedimentundersökning Mälaren WSP 150210.docx



| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfarterna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Bilaga 2. Bedömning av lokala bakgrundshalter

I avsnitt 6.3 presenteras bedömda bakgrundshalter i västra Mälarens ytsediment. Här jämförs dessa värden med andra uppgifter, som en rimlighetsbedömning.


SGUs tidigare mätningar i Mälaren (Maringeologisk karta K 223:2) är inte typiskt knutna till farlederna eller till olika punktkällor, och kan därför användas som mått på regionalt förekommande bakgrundshalter. Ur data för SGUs provpunkter har 25- och 75-percentilen beräknats, vilket kan ses som ett "normalintervall". För att vara representativa för den västra halvan av Mälaren har dock de fem provpunkter som ligger öster om Ekerö tagits bort. Ur föroreningsperspektiv skiljer sig dessa punkter markant från resterande drygt 20 provpunkter i Mälaren. Värdena anges i Tabell A 1. Överensstämmelsen är överlag mycket god, men med en tendens till att valda värden är något lägre än SGUs data särskilt för krom, kvicksilver, bly och fosfor. Detta styrker att de valda värdena är lämpliga som bakgrundsvärden.

I tabell A1 redovisas även Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket, 1999a). Klass 3 som benämns måttligt höga halter har använts som referensmaterial. De förslagna bakgrundshalterna är i huvudsak i nivå med eller lägre än klass 3. Krom och zink är något högre, vilket kan förklaras med regionala geologiska variationer samt annan lagningsmetod.

Tabell A 1. Jämförelse av bedömda bakgrundshalter för metaller i Västra Mälarens ytsediment med andra data. Endast medianhalter för Mälaren enligt tabell 6 redovisas här.

| | Enhet | Föreslagna bakgrundshalter | SGU Mälaren | Bedömningsgrunder kust och hav ^A |
|---------------|----------|----------------------------|-----------------|---|
| Mått | | Median | 25-75-percentil | klass 3, måttligt höga halter |
| As | mg/kg ts | 7,3 | 6-11 | 17-28 |
| Cd | mg/kg ts | 0,62 | 0,54-0,84 | 0,5-1,2 |
| Cr | mg/kg ts | 65 | 80-100 | 48-60 |
| Cu | mg/kg ts | 40 | 32-66 | 30-50 |
| Hg | mg/kg ts | 0,069 | 0,10-0,17 | 0,04-0,12 |
| Ni | mg/kg ts | 38 | 27-57 | 45-66 |
| Pb | mg/kg ts | 31 | 35-55 | 40-65 |
| Zn | mg/kg ts | 240 | 190-280 | 130-205 |
| Fosfor | g/kg ts | 1,3 | 1,6-2,1 | |

A. Naturvårdsverket (1999a)

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

För flertalet organiska föroreningar finns väldigt sporadiska data rörande halter i sjösediment. I Mälaren finns liksom för metaller även SGU-data över PAH och PCB. Därutöver finns data från centrala punkter i Svealandskusten fjärdar (Sternbeck m.fl., 2003). För dioxiner har vi inte funnit några användbara data från sjösediment, varför en sammanställning av de senaste data från centrala Östersjön används (Naturvårdsverket, 2009). Samtliga dessa data är sammanställda i Tabell A 2. Liksom för metaller visar jämförelsen att de valda bakgrundshalterna är relativt låga, och därmed lämpliga för sitt syfte.

Tabell A 2. Underlag för att skatta regionala bakgrundshalter av vissa organiska föroreningar i yt sediment. Alla halter anges per torrsubstans.

| Ämne | Mått | PAH-16, mg/kg | PCB-7, µg/kg | OCDD ng/kg | OCDF, ng/kg | TBT, µg/kg |
|---|----------------------------------|----------------------|--------------|---------------|----------------|---------------|
| Valda värden | median | 0,4 | 2,5 | 43 | 9 | 5,9 |
| SGU Mälaren | 25-75-percentil | 0,23-0,43 | 4-13 | | | |
| Centrala Östersjön^A | medel /min-max | | 5,3 ± 4,1 | 74-350 | 37-167 | |
| Svealandskusten, bakgrund^B | medel (25-75-%) | 0,6 (0,4-0,7) | 7 (3-7) | | | 23 (2-30) |
| Bedömningsgrunder kust och hav^C | klass 3, måttligt höga halter | 0,8-2,5 ^D | 1,3-4 | | | |

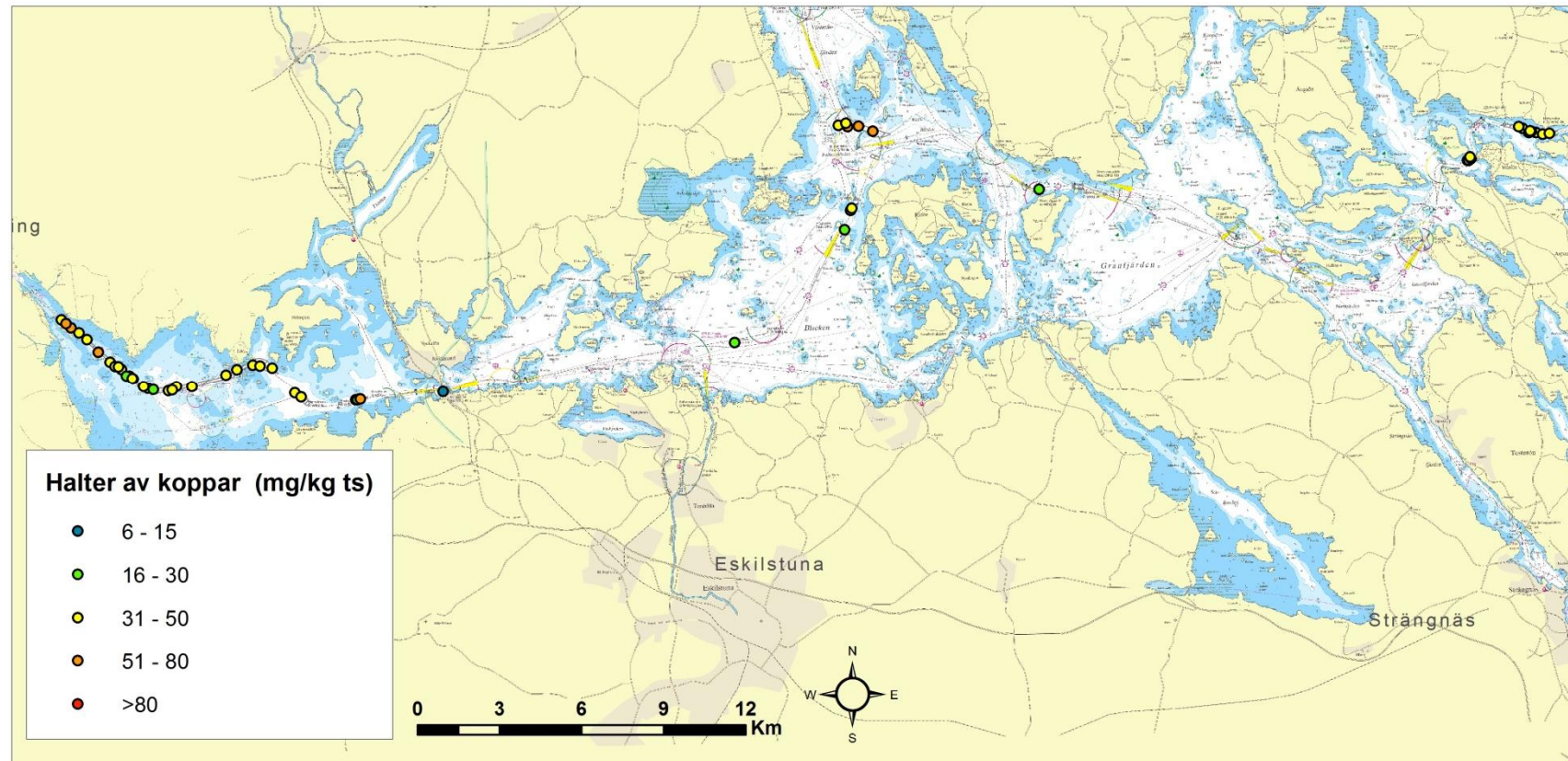
A. Naturvårdsverket (2009)

B. Sternbeck m.fl. (2003)

C. Naturvårdsverket (1999a)

D. Bedömningsgrunderna avser PAH-11, varför motsvarande gränser för PAH-16 skulle vara något högre.

Bilaga 3 Djupintegrerade medelhalter i västra Mälaren

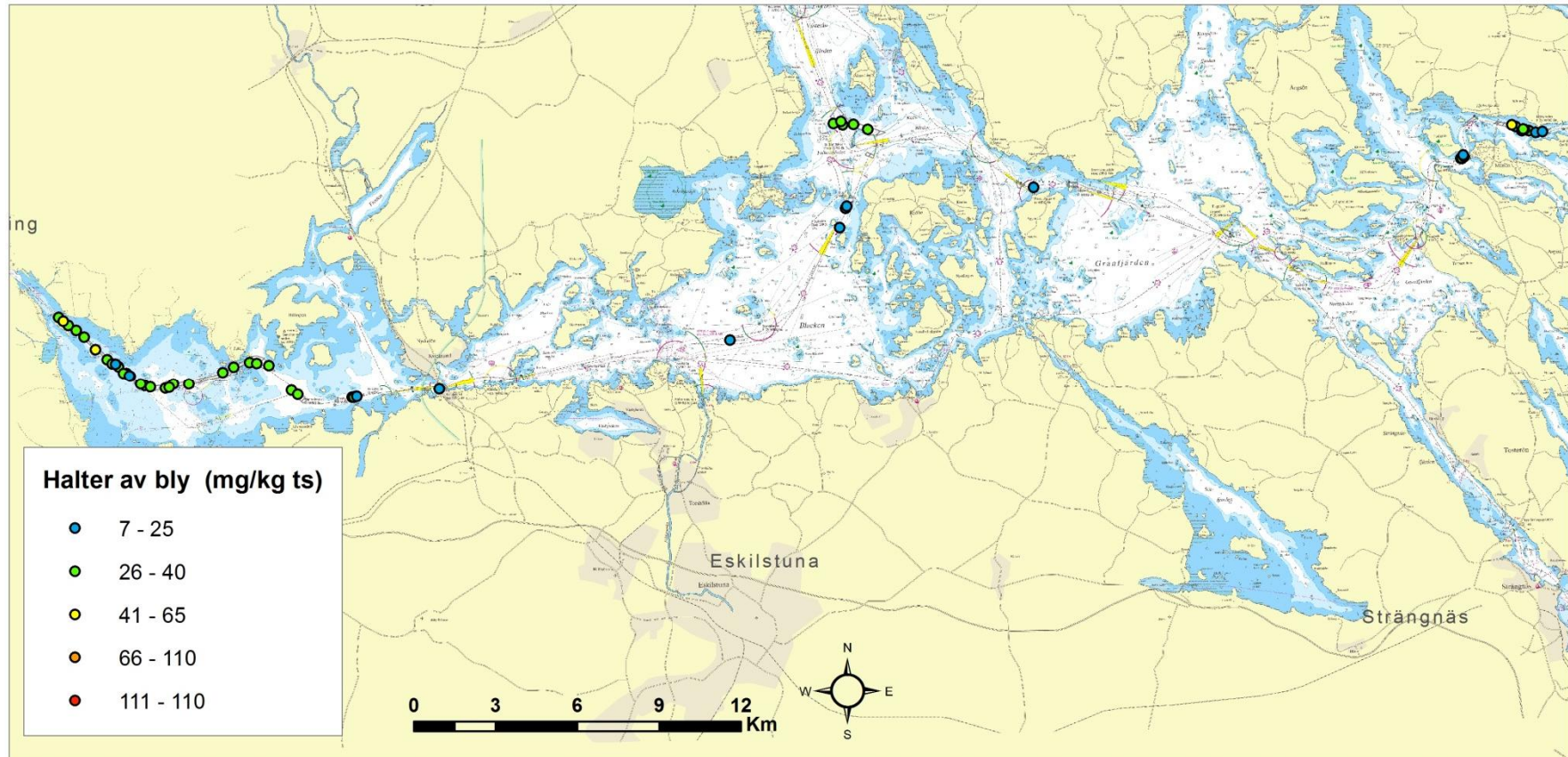


Uppdragsnr: 10165510

Mälarfärlederna

Daterad: 2015-02-10

Undersökningar av sediment

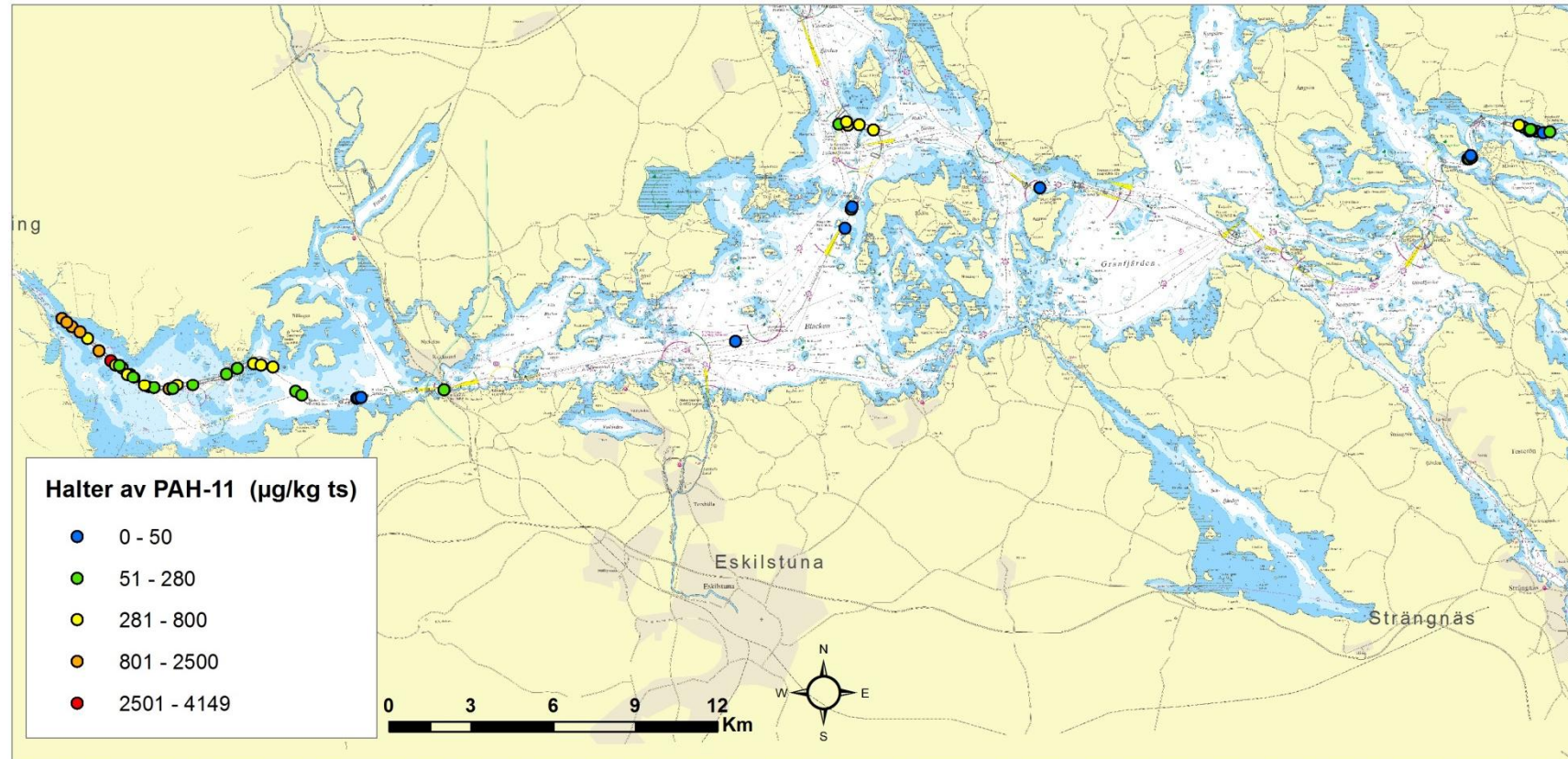


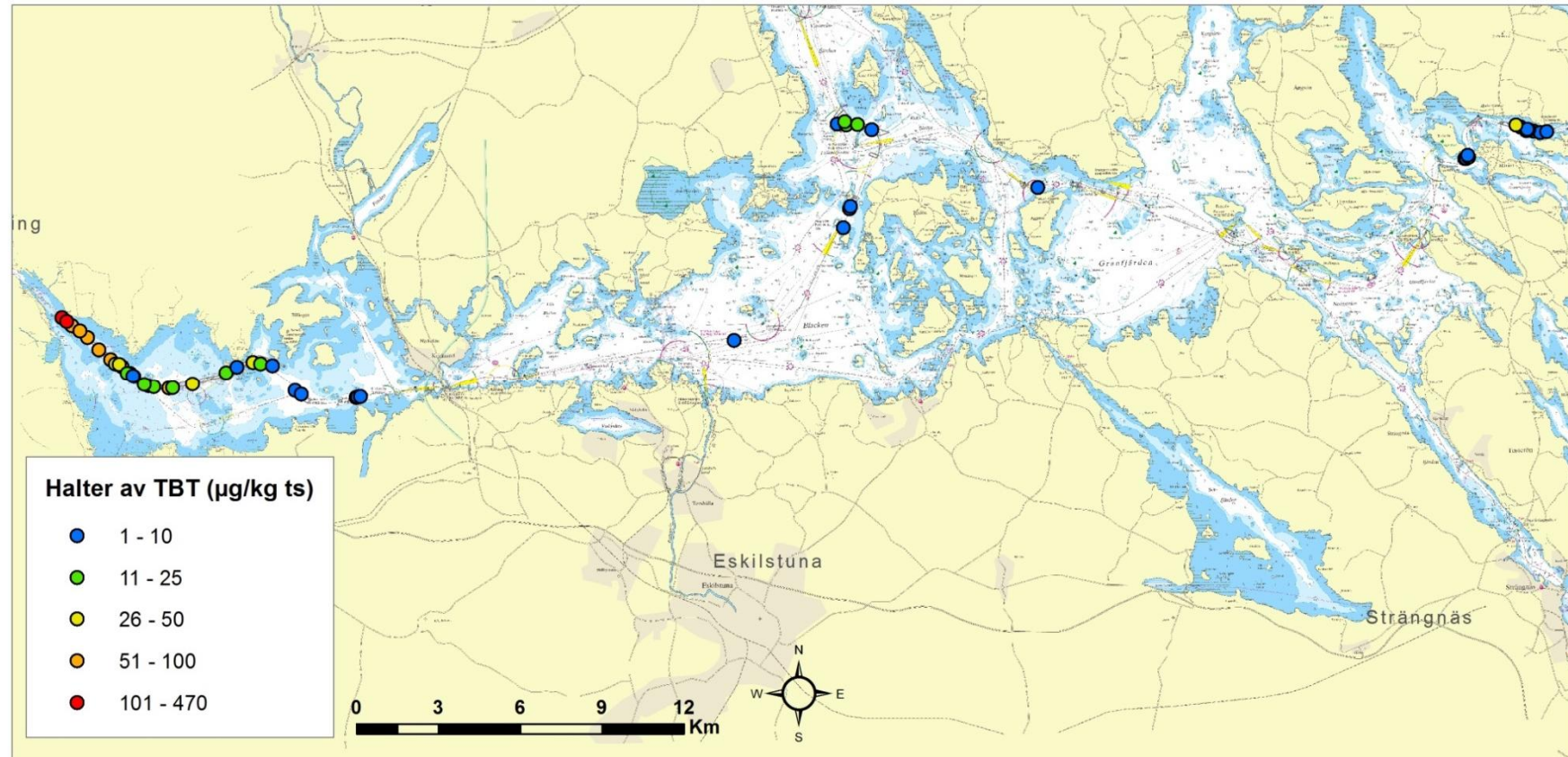
Uppdragsnr: 10165510


Mälarfärlederna

Daterad: 2015-02-10

Undersökningar av sediment





| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Bilaga 4 Laktest av sediment från Södertälje kanal.


För att ge underlag för bedömning av risken att metaller frigörs från uppgrumlat sedimentspill, i samband med muddring eller dumpning, har ett s.k. skaktest utförts. Liknande tester har tidigare i Mälarpjektet utförts för sediment från västra Mälaren (WSP, 2014a). I detta fall har ett ytligt sediment från Igelstaviken i närheten av provpunkt KM326 undersökts. Halterna i provet återges i tabell 4.1 och provet har förhöjda halter av kvicksilver, vilket därmed gör det representativt för områdets föroreningsituation. Provet har skakats med ytvattenprov från området.

I tabell 4.2 anges utlakad mängd metall vid tre olika s.k. L/S-kvoter. Den maximala andelen för varje metall återges också och jämförs med motsvarande resultat från västra Mälaren. I några fall blev uppmät halt i laklösningen lägre än i det ytvattenprov som användes vid lakningen. I dessa fall blir den beräknade utlakningen negativ, och värdet noll sätts då i tabellen.

Det är överlag små andelar som bedöms lakbara. Generellt är det god överensstämmelse med motsvarade resultat från västra Mälaren. Undersökningen tyder på att kvicksilver är mycket hårt bundet i sedimenten.

Tabell 4.1. Metallhalter i det sediment som använts vid skaktest.

| Metall | Enhet | Halt |
|-----------------|----------|------|
| Arsenik, As | mg/kg TS | 6,1 |
| Bly, Pb | mg/kg TS | 37 |
| Kadmium, Cd | mg/kg TS | 1,2 |
| Kobolt, Co | mg/kg TS | 8,8 |
| Koppar, Cu | mg/kg TS | 50 |
| Krom, Cr | mg/kg TS | 36 |
| Nickel, Ni | mg/kg TS | 18 |
| Zink, Zn | mg/kg TS | 130 |
| Kvicksilver, Hg | mg/kg TS | 2,3 |

| | | |
|----------------------|----------------------------|---|
| Uppdragsnr: 10165510 | Mälarfärderna |  |
| Daterad: 2015-02-10 | Undersökningar av sediment | |

Tabell 4.2. Utlakad mängd (%) ämne av ursprunglig fastfashalt i sediment från Södertälje kanal. Maximalt beräknade utlakade mängder för respektive ämne anges i kolumnen längst till höger.

| Sediment Kumulativ L/S-kvot | L/S | L/S | L/S | MAX | MAX |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------------|--------------|
| | 10 | 50 | 120 | Södertälje | V. Mälaren |
| Arsenik | 2,5% | 7,0% | 11,7% | 12% | 0,65% |
| Bly | 0,27% | 0,31% | 0,38% | 0,4% | 0,78% |
| Kadmium | 0,06% | 0,18% | 1,25% | 1,3% | 1,8% |
| Kobolt | 0,21% | 0,92% | 1,55% | 1,6% | 1,6% |
| Koppar | -0,01% | -0,19% | -0,37% | 0 | 1,7% |
| Krom | -0,18% | -0,96% | -1,78% | 0 | 0,20% |
| Nickel | 0,17% | 0,86% | 1,79% | 1,8% | 2,0% |
| Zink | -0,03% | 0,18% | 0,78% | 0,8% | 6,3% |
| Kvicksilver | 0,0030% | 0,0048% | 0,0078% | 0,008% | n.a. |