

Rapport nr.: 2005.051		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Spredning av miljøgifter fra tette flater i Bergen			
Forfatter: Morten Jartun, Rolf Tore Ottesen og Tore Volden		Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Hordaland	
Fylke: Hordaland		Kommune: Bergen	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 69	Pris: 300,-
Feltarbeid utført: September - oktober 2004		Rapportdato:	Ansvarlig: <i>Tore Hauge</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>64 prøver av sandfangsmaterialer er samlet inn og analysert for innholdet av miljøgifter som et ledd i en undersøkelse av nåværende aktiv spredning av forurensning fra land til sjø rundt Bergen havn. I tillegg er det blitt gjort en oppfølgende undersøkelse der ett sandfang ble prøvetatt på nytt i tillegg til ekstra prøver fra et sandfang i samme område, samt prøver fra kommunens og Statens vegvesens deponikummer for sandfangsmaterialer i Rådalen deponi. Det ble også foretatt en undersøkelse av Puddefjordsbrua som mulig kilde til PCB-forurensning.</p> <p>Resultatene indikerer omfattende aktiv spredning av polyklorete bifenyler (PCB), sink (Zn) og bly (Pb) fra landkilder med stor utbredelse til det marine miljøet.</p> <p>Tinn (Sn) og kobber (Cu) synes å ha en aktiv spredning fra kilder med begrenset utbredelse.</p>			
Emneord: Miljøgifter	Spredning		Forurensning
PCB	Tungmetaller		TOC
Kornfordeling			

## INNHold

1. INNLEDNING .....	4
1.1 Overvann .....	4
1.2 Avløpsnett i Bergen .....	4
1.3 Sandfang .....	5
2. FORURENSNINGSKILDER .....	6
2.1 Aktive PCB-kilder .....	6
2.2 Bly (Pb), sink (Zn) og kadmium (Cd) .....	8
2.3 Kobber (Cu) og tinn (Sn) .....	9
2.4 Kvikksølv (Hg) .....	9
2.5 Krom (Cr) og nikkel (Ni) .....	9
2.6 Arsen (As) .....	9
3. METODER .....	10
3.1 Prøvetaking .....	10
3.2 Prøvebehandling .....	11
3.3 Bestemmelse av PCB <sub>7</sub> i sandfangsmaterialer og ulike kornstørrelsesfraksjoner .....	12
3.4 Bestemmelse av tungmetaller og TOC .....	12
3.5 Bestemmelse av kornfordeling .....	13
3.6 Statistisk behandling av data .....	13
4. RESULTATER .....	14
4.1 NGUs tidligere miljøundersøkelser i Bergen .....	14
4.1.1 Kartlegging av forurensningsstatus i byjord .....	14
4.1.2 PCB i jord og bygningsmaterialer .....	15
4.2 Sandfangsmasser: Kornfordeling og innhold av organisk materiale (TOC) .....	16
4.2.1 Kornfordelingsanalyse med Coulter Laser .....	16
4.2.2 Innholdet av total organisk karbon (TOC) i sandfangsmaterialer .....	19
4.2.3 Estimert andel antropogene bestanddeler i sandfangsmassene .....	20
4.3 Statistisk oversikt over resultatene .....	21
4.4 PCB i sandfang rundt Bergen havn .....	23
4.4.1 PCB-profiler fra sandfangsprøver .....	26
4.4.2 PCB i ulike kornstørrelsesfraksjoner .....	31
4.4.3 PCB-profiler fra sandfang og marine sedimenter .....	36
4.5 Tungmetaller .....	40
5. OPPFØLGENDE UNDERSØKELSE AV PUDDEFJORDSBRUA .....	53
5.1 Puddefjordsbrua – en kilde til PCB? .....	56
6. KONKLUSJONER OG VIDERE UNDERSØKELSER .....	57
6.1 Spredningsfare for miljøgifter over tette flater rundt Bergen havn .....	57
6.2 Avrenning fra tette flater .....	58
6.3 Oppfølgende undersøkelser i ”Urban Risk” .....	58
7. REFERANSER .....	64

## 1. INNLEDNING

Fylkesmannen i Hordaland har i samarbeid med en rekke instanser utarbeidet "Tiltaksplan for Bergen Havn". Det er gjort undersøkelser av miljøtilstanden i havnesedimentene, og som en følge av en kartlegging av Byfjorden i Bergen i 1994, ble det innført kostholdsråd for bl.a. torskelever og omsetningsforbud for ål i indre Bergen havn. Det er påvist sterkt forurensede havnesedimenter i området både med tanke på organiske og uorganiske miljøgifter (Fylkesmannen i Hordaland, 2002).

Målsetningen med tiltaksplanen har vært å skaffe informasjon om miljøtilstanden for å vurdere et eventuelt behov for tiltak ute i havnebassenget. En tiltaksanalyse har vist at store deler av Vågen og deler av Puddefjorden er forurenset over tilstandsklasse III. PCB<sub>7</sub> og flere tungmetaller som bl.a. kvikksølv (Hg) er påvist i enkeltområder, bl.a. utenfor ubåt bunkereren på Laksevåg, i Solheimsviken samt områder i Puddefjorden og Vågen. Før eventuelle tiltak iverksettes, har miljøvern avdelingen ved Fylkesmannen i Hordaland ønsket å kartlegge nåværende aktive tilførsel av miljøgifter fra diffuse landbaserte forureningskilder. Som bidrag til et doktorgradsprosjekt kalt "Urban risk" fikk NGU midler til å følge opp idéen om undersøkelse av sandfang og overvannets betydning for tilførsel av miljøgifter til havnebassenget og om dette kunne brukes som en metode til å lokalisere aktive forureningskilder på land.

### 1.1 Overvann

I et urbant miljø som rundt Bergen havn utgjør ofte andelen tette flater 80–100 % av arealet. Fordrøyning, naturlig infiltrasjon og absorpsjon i grunnen samt fordampning er kraftig redusert, og det gir en stor grad av overflateavrenning fra et gitt område. Denne avrenningen karakteriseres som en såkalt spissavrenning med stort volum. Ved nedbør får man ofte en "first-flush"-effekt, som medfører at forurensede masser som har samlet seg opp siden forrige regnskyll følger avrenningen. Et bysentrum består av store arealer tette flater i form av veier, parkeringsplasser, hustak og fasader, og det meste av vannet blir ledet mot sluk og ledningsnett. I "Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune" (Bergen kommune, 2004) er det skissert opp ønskelige tiltak mot økt overvannsavrenning i bysentrum. Tiltakene omfatter løsninger som fordrøyer avrenningen ved bruk av delvis permeable dekker. Det er i følge retningslinjene ikke ønskelig at overvannet skal ledes til avløpsledning, med mindre overvannet er sterkt forurenset. Et eventuelt behov for rensing av overvannet må vurderes i forhold til forureningsgrad og resipientforhold.

### 1.2 Avløpsnett i Bergen

Utbyggingen av vann- og avløpsnett i Bergen startet midt på 1800-tallet da det første kommunale vannverket fra Svartediket til sentrum ble åpnet i 1854. De første avløpsledningene ble lagt på samme tid, og den eldste ledningen som fortsatt er i bruk ble bygget i ca. 1880. I 2003 var det totalt ca. 1150 km offentlige avløpsledninger i Bergen. Av dette er ca. 400 km fellessystem, 400 km separat spillvann og 350 km overvann. I de eldste og mest sentrale deler av Bergen er det stort sett et fellessystem. Med en årlig nedbør på 2250 mm i Bergen sentrum byr dette på utfordringer i forbindelse med overvannshåndtering.

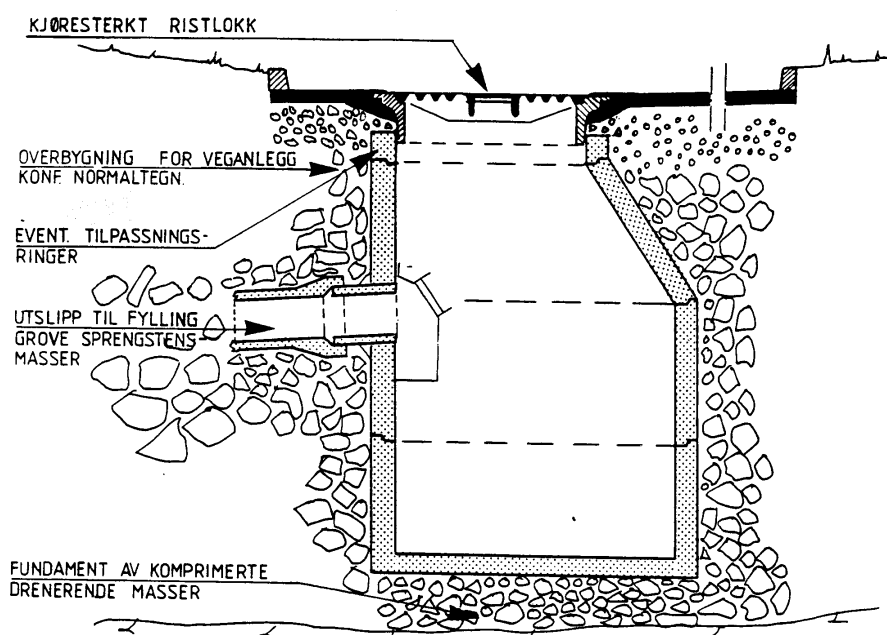
Avløpsvannet (kloakk) fra områdene rundt Bergen havn har i mange år rent urensset til nærmeste utslippspunkt i havnebassenget. Avløp rundt Store Lungegårdsvann har imidlertid blitt samlet opp og ført til Holen renseanlegg på Laksevåg siden 20-tallet. I 1988 la kommunen opp til fullføring av hovedavløpsanlegg i sentrum med renseanlegg i fjellet under Norges Handelshøyskole (Bergen kommune, 1997).

Det kommunale ledningsnett var opprinnelig et fellessystem, der både overvann og spillvann fra husholdninger og industri ble samlet ned til et utslippspunkt i havnebassenget. Senere har deler av nettet blitt et separatsystem, der overvann ledes korteste vei til sjøen, og spillvann ledes til renseanlegg. Der hvor fellessystemet er i bruk er det anlagt en rekke pumpestasjoner, som skal føre spill- og overvann til et renseanlegg. I perioder med mye nedbør kan man imidlertid få overløp, slik at mye av spill- og overvannet renner rett ut i sjøen. Alt overvann nedstrøms for pumpestasjonene vil renne rett ut i sjøen.

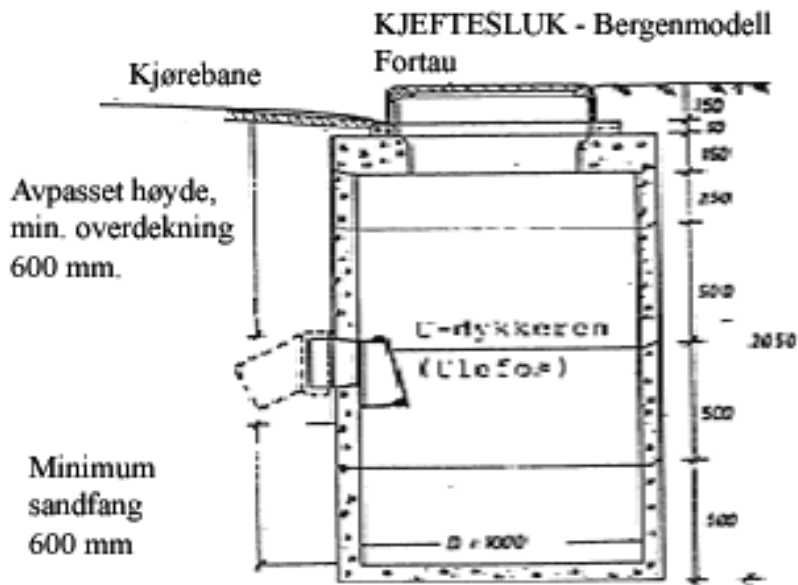
### 1.3 Sandfang

I 1996 var den registrerte slammengden fra sluk og sandfang i Bergen på 13000 tonn/år (Bergen kommune, 1998). Slam fra sandfangene samles opp nå og da, og det ble tidligere disponert dels som toppdekke i Rådalen, dels lagt til mellomlagring. I 2005 finnes to sandfangsbasseng i Rådalen, ett for Statens vegvesen og ett for kommunen. Ønsket er at slammet skal kunne benyttes som en ressurs, for eksempel som jordforbedringsmiddel. I "Slamplan for Bergen" (1998) vises det til analyser av materialer fra sandfang som beskriver lavt innhold av tungmetaller. På bakgrunn av dette er det foreslått å bruke disse materialene som rene fyllmasser med visse restriksjoner på bl.a. avrenning til drikkevannskilder.

Sandfang er kummer som gjør at noe av materialene som transporteres med overvann blir stoppet. Eksempler på slike sandfang er vist i figurene 1 og 2.



Figur 1. Sandfangskum fra veg/plass med utløp til sprengsteinsfylling. Fra utløpet ledes vann gjennom steinmasser til nedenforliggende utløp til terreng eller innføring på overvannsledning.



Figur 2. Kjeftesluk i vegkant med fortau.

## 2. FORURENSNINGSKILDER

I et bymiljø er det mange forurensningskilder av betydning, både med tanke på uorganiske (for eksempel tungmetaller) og organiske (for eksempel PCB og PAH) miljøgifter. NGU har i flere ulike prosjekter kartlagt innholdet av uorganiske og organiske miljøgifter i byjord, og disse undersøkelsene viser i stor grad at de eldste og mest sentrale delene av norske byer er forurenset med bly, sink og PAH. Bydeler fra 1950-, 60- og 70-tallet kan være til dels svært forurenset med PCB, mens havne- og kaiområder ofte er forurenset med kobber, tinn (TBT), bly og sink.

### 2.1 Aktive PCB-kilder

#### Aktuelle kilder til PCB i forbindelse med sandfangsprøvene

Det ble påvist PCB<sub>7</sub>-konsentrasjoner i 93 % av sandfangsprøvene, og en konsentrasjon over 100 µg PCB<sub>7</sub>/kg i 21 % av prøvene (se Resultater). Dette betyr at kildene til PCB i områdene rundt Bergen havn må være vanlige og med stor utbredelse i bymiljøet. Bidraget fra luft/nedbør er ikke tatt med i disse undersøkelsene, men det er lite trolig at dette bidraget er stort nok til å gi de PCB-konsentrasjonene som er blitt påvist i sandfangsmaterialene. Kildene må finnes lokalt i området. Basert på tidligere undersøkelser (se eget kapittel om NGUs undersøkelser av PCB i murfasader fra Bergen) er det tre kilder som er mest aktuelle:

- Bygningsmaterialer
- Byjord
- Asfalt

NGU har tidligere vist et høyt innhold av PCB i murpuss, maling, betong og jord i Bergen (Ottesen og Volden, 1999 ; Andersson m.fl., 2002 ; Andersson m.fl., 2003 ; Andersson m.fl., 2005). PCB i den utvendige bygningsmassen er sannsynligvis en svært viktig kilde til PCB-forurensning av bymiljøet både når fasadene forvitrer naturlig og under vedlikehold/riving. Det er påvist PCB i tre typer bindemiddel: pliolite, acryl og silikat (Waldum og Engelsen, 2003). Innholdet av PCB i fugemasser er sterkt fokusert bl.a. i Sverige (Jansson m.fl., 1997), og dette er noe som er lite undersøkt i Bergen. PCB finnes også i elektriske innretninger, og SFT satser sterkt på å få skiftet ut all lysarmatur som kan inneholde PCB. De hyppigste påviste tekniske blandinger av PCB i Bergen er Kanechlor KC-500 og Chlophen A60. Selve spredningspotensialet til disse spesifikke kildene er ikke kartlagt, men det er åpenbart at rester fra oppussing, riving og generell forvitring av bygningsmasser kan spres, spesielt med overvann over tette flater i et urbant miljø. Dette vises bl.a. på figur 3. Alle prøvene som har PCB<sub>7</sub>-konsentrasjoner over 100 µg/kg fra tabell 7, kan ha blitt forurenset med PCB fra bygningsmaterialer i nærområdet, bortsett fra prøve 1, tatt ved avfallsmottaket i Grønneviksøren. Her er det sannsynligvis en annen kilde til PCB.

Statsbygg påviste i 2002 til dels svært høye konsentrasjoner av PCB i gammel asfalt på Fornebu flyplass, opp til 98900 µg PCB/kg (Ottesen og Alexander, 2003). Kildene til PCB i asfalt kan være merkemaling, selve asfalten eller asfaltlimet. Det er lite sannsynlig at det kun er på Fornebu at asfalten inneholder PCB. Innholdet av PCB i asfalt fra Bergen er ikke undersøkt. Det er blitt gjort en liten undersøkelse av PCB-innholdet i asfalt fra 20 gater og 10 prøver fra asfaltlager i Trondheim, men det ble kun påvist lave konsentrasjoner av PCB<sub>7</sub> i 3 av disse prøvene (Andersson m.fl., 2005).



**Figur 3.** Rester fra oppussing av en bygningsfasade i Bergen. Dette materialet spres lett med overvann over tette flater, spesielt under kraftig regnvær. Her renner overvannet ned i en sandfangskum. Dersom fasaden inneholder PCB, er dette en vesentlig spredningsvei for miljøgiften gjennom et bymiljø.



**Figur 4. Gammel asfalt kan i tillegg til bygningsmaterialer være en vesentlig kilde til PCB. Det er påvist høye konsentrasjoner av PCB i asfalt fra Fornebu, mens en undersøkelse i Trondheim viste svært lave konsentrasjoner. Det er likevel mulig at gammel asfalt kan være en kilde til PCB i enkelte områder av Bergen.**

PCB-tilsats til maling, murpuss og betong fører til at også andre konstruksjoner enn husfasader kan inneholde dette stoffet. Broer, demninger, kaikonstruksjoner og murer kan også være påført PCB-holdig materiale.

Byjorda i seg selv må også regnes som en potensiell kilde til PCB. NGU har utført undersøkelser av byjord i Bergen (Ottesen og Volden, 1999 ; Andersson m.fl. 2002) som viser et høyt innhold av PCB i byjord fra Bergen. Byjorda akkumulerer miljøgifter fra mange typer kilder, fra atmosfæren, fra nedbør og overvann, og miljøgiftene kan spres videre ved kraftig regnvær, støv, graving og forflytting av masser.

## **2.2 Bly (Pb), sink (Zn) og kadmium (Cd)**

Mye av innholdet av tungmetaller i bymiljø er blitt koblet til vegtrafikk. Drivstoff har på det verste inneholdt så mye som 0,8 g bly pr. liter bensin, men innhold av bly i bensinen ble faset ut i 1996, og da inneholdt den ca. 0,05 g bly pr.liter (SSB). Blyforurensning fra trafikk er historisk betinget, men byjord har akkumulert forurensning over lang tid, og vil være en vesentlig forurensningskilde i mange år framover. Minst like viktig som bly fra bensin er sannsynligvis bruken av bly i ulike malingsprodukter, som bl.a. bly- og sinkhvitt (SFT, 1993). Forvitring i vær og vind, avskraping under oppussing og vedlikehold samt riving av bygninger vil bidra til spredning av disse tungmetallene til bymiljøet. Pipebeslag av bly er også vanlige i Bergen, og vil stadig bidra til økt tilførsel av bly til bymiljøet. I tillegg til maling vil slitasje av bildekk være en vesentlig kilde til sink i et byområde. Sink har kjemisk lignende egenskaper som kadmium, noe som fører til at kadmium ofte finnes i samme områder som sink. Byjorda er en viktig kilde til Pb, Zn og Cd.

### **2.3 Kobber (Cu) og tinn (Sn)**

Skipsmaling, bunnstoff og impregneringsmiddel til nøter kan inneholde høye prosentandeler av kobber og tinn. Tinn kan forekomme i den svært giftige, organiske formen TBT (tributyltinn). Bruken av TBT har i lovverket blitt faset ut, men ettervirkningene kan fortsatt ses, og en del TBT-holdig bunnstoff benyttes fortsatt. NGU har påvist en sammenheng mellom uorganisk tinn (Sn) og TBT i en byjordsundersøkelse i Tromsø (Jartun m.fl., 2003). Kjemiske analyser av TBT har vært svært kostbart, og undersøkelsene i Tromsø viste en klar sammenheng mellom innhold av uorganisk Sn og TBT. Undersøkelser så langt viser at Sn enten forekommer i svært lave eller svært høye konsentrasjoner, der de høye konsentrasjonene reflekterer bruk av TBT-holdig bunnstoff eller maling. Bruk av kobberplater på bygningsfasader og tak er i tillegg viktige kobberkilder.

### **2.4 Kvikksølv (Hg)**

Kvikksølv er et grunnstoff som er blitt brukt til en rekke formål, og har flere kilder av større eller mindre betydning i et bymiljø. Man finner kvikksølv i elektrodematerialer, speil, maling, gamle termometre, bærbare PC'er, energibesparende lyspærer og som tilsetning i amalgam (Friberg m.fl., 1986 ; SFT, 1993 ; SFT, 1997).

### **2.5 Krom (Cr) og nikkel (Ni)**

Krom og nikkel forekommer naturlig i relativt høye konsentrasjoner i berggrunnen. Forurensningskilder i bymiljøet kan likevel gi forhøyede konsentrasjoner av disse to grunnstoffene. Krom benyttes som fargestoff, rustbeskytter, i legeringer, i impregneringsmidler (for eksempel CCA (copper, chromium and arsenic) – impregnering av trevirke). Nikkel brukes bl.a. som legeringsmetall, rustbeskytter og i oppladbare batterier (Friberg m.fl., 1986 ; SFT, 1993 ; SFT, 1997).

### **2.6 Arsen (As)**

Arsen er blitt brukt i stort omfang innen medisin og som sprøytemiddel, men den viktigste kilden til arsen i norske bymiljø er bruken av CCA-impregnert trevirke (kobber, krom og arsen). CCA-trevirke forekommer i utstrakt grad i barnehager, som terrassebord, trapper osv. Arsen er også kjent tilsatt i maling, spesielt skipsmaling (Ryberg og Haugen, 1994).

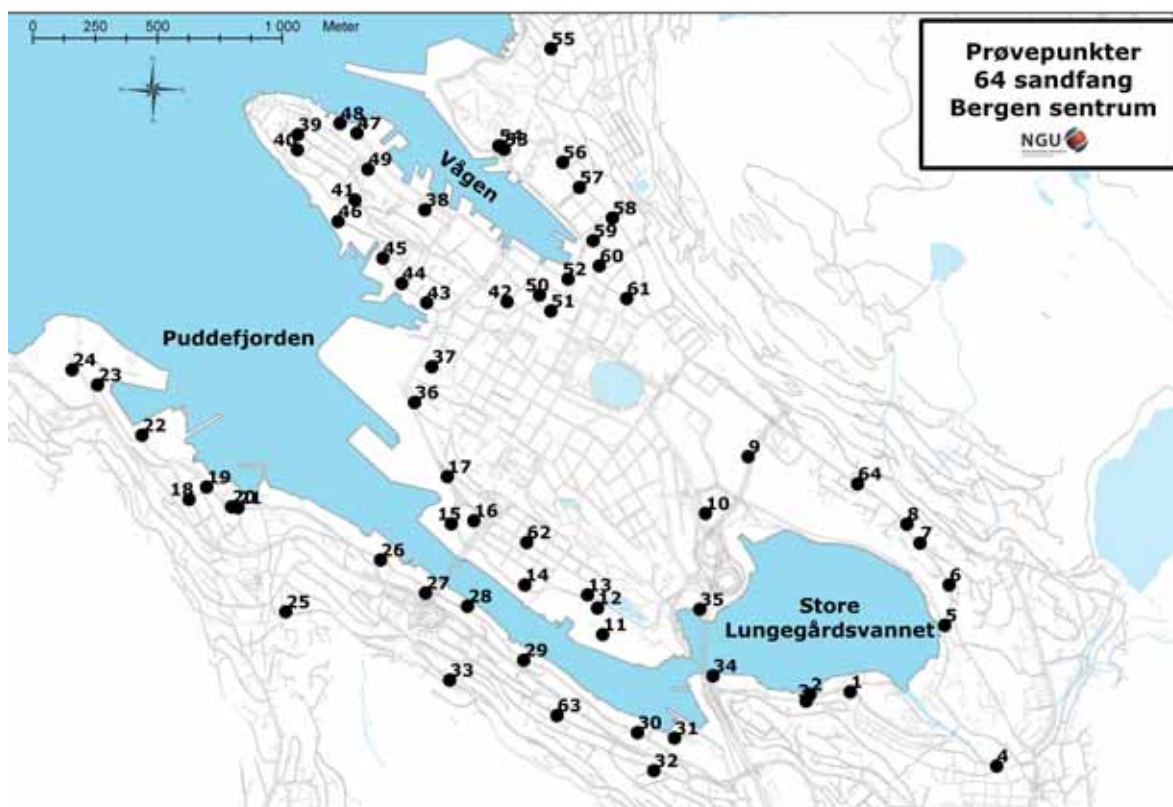
Andre generelle forurensningskilder i et bymiljø som kan tilføre tungmetaller til jord, luft og vann er bybranner, gassverk, forbrenning av kull, vedfyring, industriutslipp og krematorier. Den organiske gruppen av miljøgifter kalt polyaromatiske hydrokarboner (PAH) kan også dannes under ufullstendig forbrenning, og vil ofte forekomme i områder som har vært utsatt for bybranner.



### 3. METODER

#### 3.1 Prøvetaking

NGU har tatt ut prøver av materiale fra 64 ulike sandfang, nummerert 1 – 64, i området fra Laksevåg til Bergenhus, se figur 5. Det ble lagt vekt på å ta ut prøver av bunnmateriale fra sandfang i nærhet til havnebassenget, og de 64 prøvene ble fordelt jevnt rundt hele Puddefjorden, Store Lungegårdsvann, rundt hele Nordnes og i sentrum rundt Vågen, slik figur 5 viser. Koordinater til punktene finnes i vedlegg sammen med rådata.



Figur 5. Prøvepunkter for undersøkelse av 64 sandfang rundt havnebassenget i Bergen

Sandfangene består av en kum som samler opp materialer som transporteres i gateplan, bl.a. ved regnvær. Vann og transporterte materialer ledes som regel først gjennom en rist og samles opp i et sandfang. Det finnes flere typer rister og kummer, slik figur 6 viser. Det faste materialet i bunn av disse kummene ble tatt opp ved hjelp av et skaft i aluminium med en kopplignende struktur i ene enden, slik figur 7 viser.



Figur 6. Ulike typer kummer som er prøvetatt



Figur 7. Kummene ble åpnet, og materialet ble hentet ut med en øseanretning i aluminium.

Materialet fra sandfangskummene ble samlet inn i hvite plastbøtter á 1 L. Den uttatte prøvemengden fra de enkelte sandfangene varierte avhengig av mengde oppsamlet materiale i kummen, men gjennomsnittlig prøvemengde var 0,5 – 1 L. Bøttene ble forseglet med tettsittende lokk og transportert i beskyttende trekasser tilbake til NGU i Trondheim.

### 3.2 Prøvebehandling

Prøvene ble satt på et flatt underlag i ca. ett døgn slik at alt materialet i bøttene skulle synke. Etter dette ble vannet over det faste materialet sugd bort ved hjelp av en blank plastsprøyte, og overført til 100 mL plastflasker for videre oppbevaring. Det gjenværende materialet ble så splittet i to like fraksjoner ved NGUs laboratorium i Trondheim. Den ene fraksjonen ble sendt i våt tilstand til det akkrediterte laboratoriet AnalyCen AS i Moss for bestemmelse av PCB<sub>7</sub>. Disse prøvene ble emballert i rilsandposer og fraktet i kjølebag til laboratoriet. Den andre delfraksjonen ble tørket ved ca. 30 grader i NGUs laboratorium for senere bestemmelser av bl.a. tungmetaller, TOC og kornfordeling.

### 3.3 Bestemmelse av PCB<sub>7</sub> i sandfangsmaterialer og ulike kornstørrelsesfraksjoner

PCB ble bestemt ved hjelp av GC-ECD (gasskromatografi med elektroninnfangingsdetektor) med en deteksjonsgrense på ca. 0,002 mg/kg (2 µg/kg) med en måleusikkerhet på ± 25 % i alle prøvene. Analysene ble utført av laboratoriet AnalyCen AS i Moss, og alle analysene er akkreditert.

Resultatene fra bestemmelsen av PCB<sub>7</sub> i de 64 sandfangene ble brukt til å velge ut 8 av prøvene med høyest PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon for oppfølgende analyser, bl.a. for å se om PCB<sub>7</sub> var bundet til grove eller fine partikler. Originalmaterialet forelå da på tørr form, og de var siktet med nylonsikt på 2 mm, der grovfraksjonen var kastet. Prøvene ble tørrsiktet med nylonsikter til 5 ulike kornstørrelsesfraksjoner under 2 mm. Det ble tatt ut materiale fra hver av de 5 fraksjonene i 8 utvalgte prøver, og de ble sendt til ny bestemmelse av PCB<sub>7</sub>, til sammen 40 prøver. De fem fraksjonene er angitt i tabellen under.

Tabell 1. Kornstørrelsesfraksjoner

Kornstørrelse (µm)	Prøvebetegnelse
500 – 2000	* . 1
250 – 500	* . 2
150 – 250	* . 3
60 – 150	* . 4
< 60	* . 5

\* = Prøvenummer på de 8 utvalgte prøvene (Nr. 1, 12, 17, 40, 45, 51, 53 og 61, jfr. "Resultater")

### 3.4 Bestemmelse av tungmetaller og TOC

Bestemmelse av tungmetaller og total organisk karbon (TOC) i de 64 sandfangsprøvene ble foretatt på NGUs akkrediterte laboratorium i Trondheim. Etter tørking ved ca. 30°C i en uke ble prøvene siktet med nylonsikt på 2 mm, og grovfraksjonen ble kastet. Prøvene ble så oppsluttet i 7 N HNO<sub>3</sub> i autoklav i samsvar med Norsk Standard – NS 4770. Dette er en partiell syreekstraksjon, og representerer derfor ikke totalinnholdet av grunnstoffene i prøvene. 31 ulike grunnstoffer, bl.a. bly (Pb), kobber (Cu), sink (Zn), krom (Cr) og nikkel (Ni) ble bestemt ved ICP-AES-analyser. Grunnstoffene arsen (As), kadmium (Cd) og tinn (Sn) ble bestemt ved hjelp av atomabsorpsjonsanalyse med grafittovnteknikk. Kvikksølv (Hg) ble bestemt ved hjelp av atomabsorpsjon med Hg-kalddampeteknikk. Analyseusikkerheten for samtlige grunnstoffer er ± 10 % i alle prøvene, bortsett fra prøve nr. 23 hvor usikkerheten er ± 20 % på grunn av svært høye konsentrasjoner av bl.a. Cu. Tabell 2 angir den nedre bestemmelsesgrensen for de mest aktuelle grunnstoffene.

Tabell 2. Nedre bestemmelsesgrenser for utvalgte grunnstoffer ved analyse av sandfangsprøver

NGU-Lab	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn
Nedre bestemmelsesgrense (mg/kg)	1	0,02	0,2	0,5	0,01	1	1	3	1

Innholdet av total organisk karbon (% TOC) ble bestemt ved hjelp av et Leco SC-444-instrument med en nedre bestemmelsesgrense på 0,1 % TOC i NGUs akkrediterte laboratorium. Analyseusikkerheten for TOC-analyser er ± 15 % rel. i måleområdet 0.1 – 3.0 % TOC og ± 10 % rel. i måleområdet over 3.0 % TOC.

### 3.5 Bestemmelse av kornfordeling

Kornfordelingsanalyse ble utført ved hjelp av en Coulter laser i NGUs akkrediterte laboratorium. Bestemmelsen er basert på laserdiffraksjon der et laserlys brytes i bestemte vinkler avhengig av størrelsen på partiklene. Lysbrytningen registreres av en rekke detektorer, og vinklene korresponderer med gitte partikkelstørrelser. Antall partikler med en gitt størrelse er relatert til intensiteten for korresponderende detektorer. Kornfordelingen gjengis på volumbasis. Det antas at det er samme tetthet på materialet slik at en kumulativ volumprosent vil være identisk med kumulativ masseprosent. Det antas at materialet inneholder sfæriske partikler. Måleområdet i denne undersøkelsen var fra 0,4  $\mu\text{m}$  – 2000  $\mu\text{m}$  etter at bulkprøvene var siktet på 2 mm med nylonsikt, og finfraksjonen var tatt ut. Analyseusikkerheten til metoden er på  $\pm 3\%$  (kumulativ masse(volum) %).

Det ble valgt ut 21 prøver fra det originale materialet på 64 sandfangsprøver pluss noen prøver fra en oppfølgende prøvetaking som ble sendt til kornfordelingsanalyse. Utvalget ble gjort ut fra innholdet av PCB<sub>7</sub> og tungmetaller fra den kjemiske analysen.

### 3.6 Statistisk behandling av data

Prinsipalkomponentanalyse (PCA) ble gjennomført på innholdet av tungmetaller, TOC og PCB i 68 sandfangsprøver (64 originale prøver pluss 4 fra oppfølgende undersøkelse). Programmet Simca-P 10.0 (Umetrics, Sverige) ble brukt for å evaluere eventuelle samvariasjoner i datasettet. Dataene er skalert med Unit Variance (UV), og presentert i plott med to prinsipalkomponenter.

Kartbildene for PCB, tungmetaller og TOC er laget ved hjelp av GIS-verktøyet ArcMap<sup>TM</sup> 8.2 fra ESRI®. Konsentrasjonsklassene omfatter en 5-delning av tierpotensen, som er vanlig ved presentasjon av geokjemiske data. Konsentrasjonsklassene blir da: 1-16, 16-25, 25-39, 39-63 og 63-100 osv. Den minste klassen utgjør ca. 1/3 av prøvene (33-prosentilen).

## 4. RESULTATER

Resultatene er presentert i følgende kapitler:

- Sandfangsmasser – kornfordeling og innhold av organisk materiale
- Statistisk oversikt over resultatene
- PCB
  - Innhold av PCB i sandfang rundt Bergen havn
  - PCB i ulike kornstørrelsesfraksjoner
  - Kornfordeling
  - Sammenligning av PCB-resultater fra sandfangsundersøkelsen og prøver fra marine sedimenter
- Tungmetaller
- Oppfølgende undersøkelser – Puddefjordsbrua
- Resultater fra tidligere miljøundersøkelser i Bergen utført av NGU

### 4.1 NGUs tidligere miljøundersøkelser i Bergen

#### 4.1.1 Kartlegging av forurensningsstatus i byjord

NGU foretok i 1998 en kartlegging av miljøtilstanden i byjord fra Bergen kommune, inkludert sentrumsområdene (Ottesen og Volden, 1999). Undersøkelsen dokumenterte innholdet av arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel, sink, dioksin, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og polyklorerte bifenyler (PCB) i overflatejord fra Bergen. I dette arbeidet ble det lagt vekt på å dokumentere tilstanden i jorden i avfallsforbrenningsanleggets nedslagsfelt.

I det indre byområdet (Sentrum, Løvestakken, Landsås, Sandviken og Laksevåg bydeler) er innholdet av arsen, kadmium, kobber, kvikksølv, bly, sink, PAH, PCB og dioksin oppkonsentrert i forhold til gjennomsnittet for hele kommunen. Bergen sentrum er forurenset med bly, kvikksølv og kadmium og til dels sink, PAH og PCB. Innenfor Bergen sentrum har Nordnes de høyeste konsentrasjonene av arsen, kadmium, bly og sink. I Dokkenområdet er det målt en høy konsentrasjon av PAH og flere høye blykonsentrasjoner. Aksen fra Laksevåg sentrum til Minde og Landås har et noe forhøyet innhold av bly, sink, kadmium og kvikksølv i overflatejorden.

Tabell 3 sammenligner konsentrasjoner av utvalgte miljøgifter i byjord (fra 1998 og 2002) og sandfangsmaterialer (fra 2004).

**Tabell 3. Sammenligning av konsentrasjoner av utvalgte miljøgifter i byjord fra Bergen med konsentrasjon i sandfangsmaterialer. Medianverdi og spredning for arsen, kadmium, krom, kobber, kvikksølv, nikkel, bly og sink (119 prøver av byjord fra indre byområder), polyklorerte bifenyler (PCB<sub>7</sub>) (191 prøver fra Ottesen og Volden, 1999 og Andersson m.fl., 2002).**

Kjemisk stoff	Median (mg/kg)		Spredning (mg/kg)	
	Byjord	Sandfang	Byjord	Sandfang
<b>Arsen (As)</b>	3,2	3,7	0,5 – 18	<1 – 56
<b>Kadmium (Cd)</b>	0,3	0,4	0,04 – 1,5	0,02 – 11
<b>Krom (Cr)</b>	21	25	6 – 215	11 – 135
<b>Kobber (Cu)</b>	29	97	15 – 2850	16 – 6600
<b>Kvikksølv (Hg)</b>	0,2	0,06	0,02 – 1,9	<0,01 – 2,81
<b>Nikkel (Ni)</b>	13	24	3 – 310	7 – 309
<b>Bly (Pb)</b>	81	61	3 – 886	9 – 675
<b>Tinn (Sn)</b>	Ikke bestemt	6,2	Ikke bestemt	<3 – 444
<b>Sink (Zn)</b>	128	403	41 – 998	51 – 4670
<b>Sum PCB<sub>7</sub></b>	0,014	0,031	<0,001 - 28	<0,0004 – 0,704

#### 4.1.2 PCB i jord og bygningsmaterialer

Fra 1950-årene til slutten av 1970-tallet ble det brukt PVA-bindemiddel (polyvinylacetat) i mørtel og betong for å påvirke seigheten og gjøre påføring lettere. PCB i flytende form ble til en viss grad brukt som tilsetning i PVA-mørtel. Undersøkelser indikerer at bruken av PVA-mørtler for fasadepuss var mest utbredt på Vestlandet, der klimapåkjenningene er størst.

Det ble i 2002 tatt kjerneprøver fra 46 bygg i Bergen, oppført eller rehabilitert i perioden 1951 til 1973, og innholdet av polyklorerte bifenyler (PCB) ble bestemt. 30 prosent av de undersøkte bygningene i Bergen hadde PCB-forurensede yttervegger. Bygningene er enten oppført eller rehabilitert i perioden 1950-1970. En lignende undersøkelse i Tromsø viste at kun 1 av 28 bygg hadde PCB i ytterveggene. Ingen av 15 undersøkte bygg i Trondheim hadde PCB-forurensede yttervegger. Kartleggingen av PCB-holdige byggematerialer kan være vanskelig ettersom bruken av PVA var svært firma- og personavhengig. Geografiske forskjeller i bruk er blitt oppdaget. I deler av Vestlandet med Bergen som sentrum var bruk av ulike PVA-blandinger vanligere enn i resten av landet (Andersson m.fl., 2002). Det ble i tillegg tatt jordprøver inntil bygningene hvor det ble tatt ut kjerneprøver. 90 prosent av jordprøvene har PCB-verdier høyere enn SFTs normverdi for ren jord (10 µg/kg). 70 prosent av både jordprøvene og malings-/puss-prøvene har PCB-konsentrasjoner høyere enn 500µg/kg.

De fleste prøvene med svært høye konsentrasjoner av PCB ble funnet utenfor det prøvetatte området i sandfangsundersøkelsen rundt Bergen havn. Bruken av PCB i ulike bygningsmaterialer kan være mer utbredt enn det som kommer fram i NGU-rapport 2002.102, og det er behov for ytterligere kartlegging av bygningene rundt Bergen havn, noe som vil bli fulgt opp i "Urban Risk"-prosjektet. Da vil resultatene fra sandfangsundersøkelsen ligge til grunn for eventuell identifisering av nye PCB-kilder i Bergen sentrum.

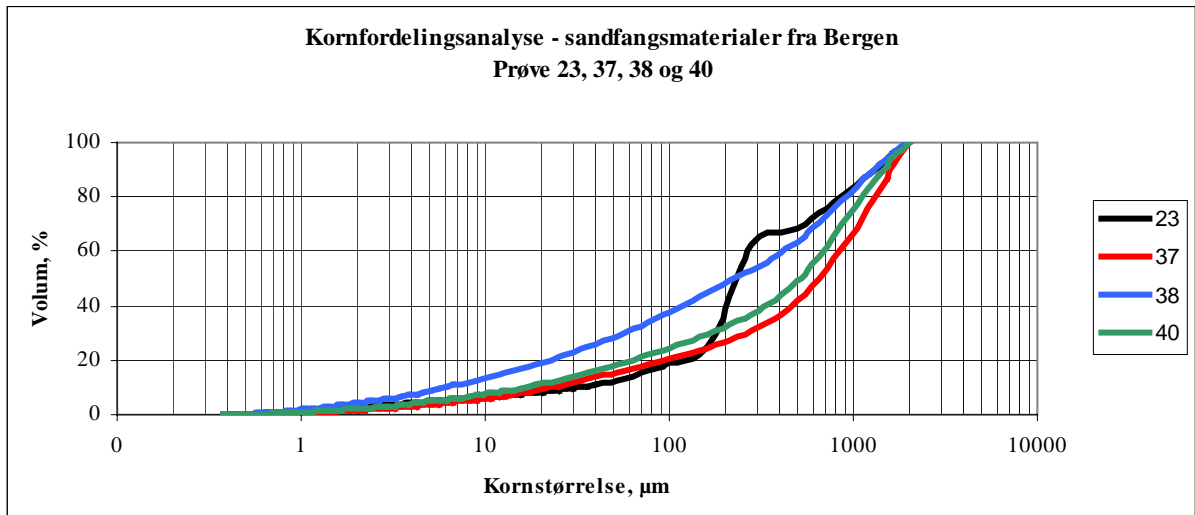
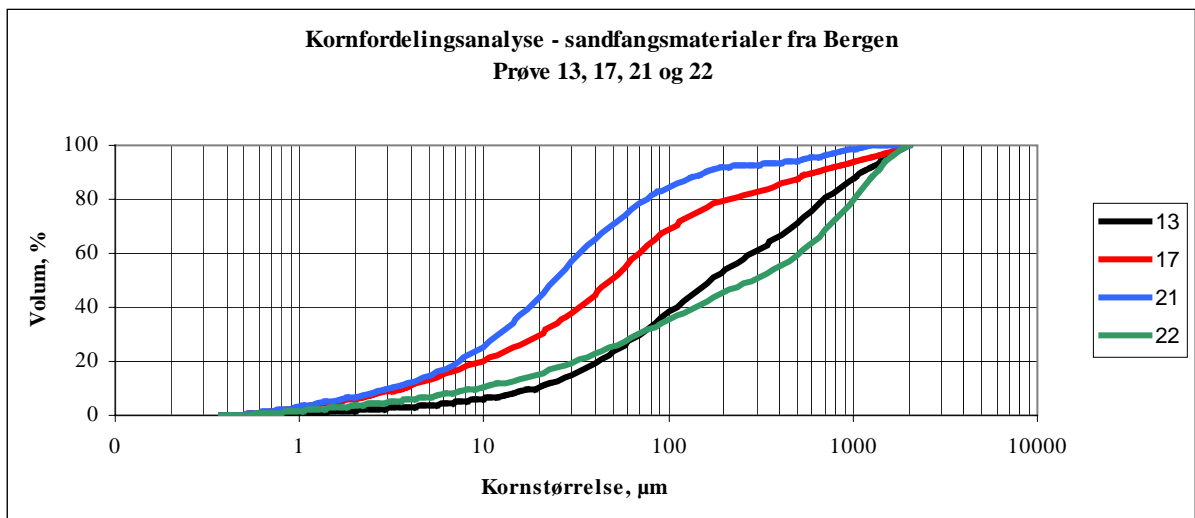
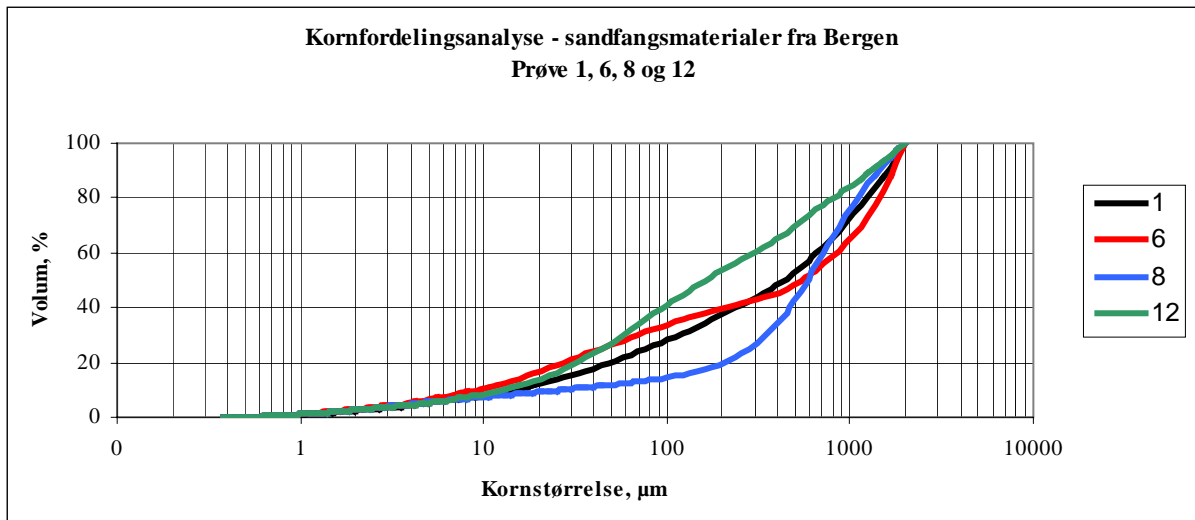
## 4.2 Sandfangsmasser: Kornfordeling og innhold av organisk materiale (TOC)

### 4.2.1 Kornfordelingsanalyse med Coulter Laser

Kornfordelingsbestemmelsen basert på laserdiffraksjon er for 21 utvalgte av de 68 innsamlede sandfangsprøvene presentert i måleområdet 0,4 – 2000  $\mu\text{m}$ . Plottene for volumprosent som funksjon av kornstørrelse er presentert for 4 prøver per figur (Figur 8 og 9). Tabell 4 gir en oversikt over resultatene, der partikkelstørrelsen i  $\mu\text{m}$  er gitt for gjennomsnittet av prøven, 10-prosentilen, medianverdien (50 %) og 90-prosentilen.

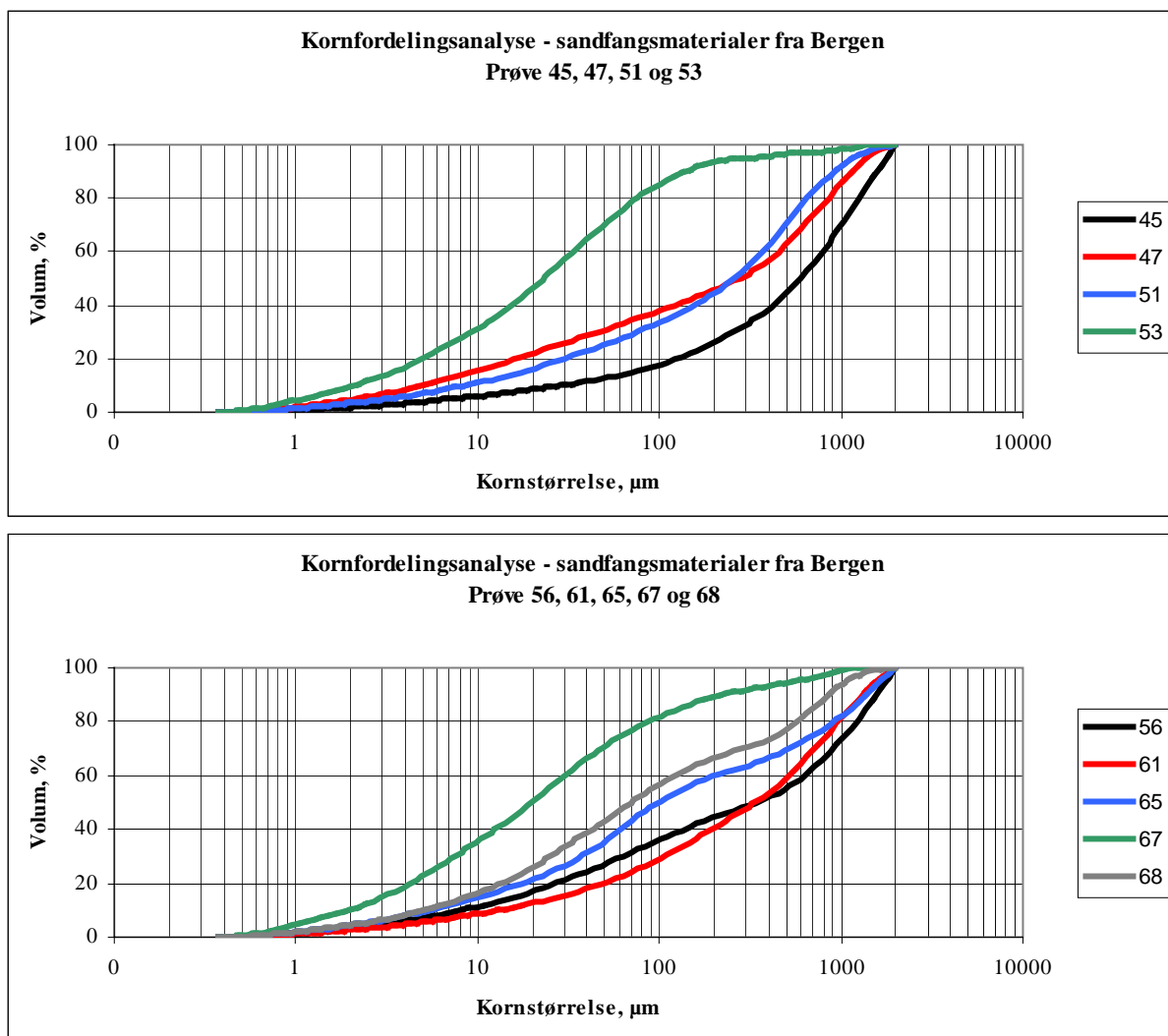
**Tabell 4. Statistiske parametre for kornfordelingsbestemmelse i 21 sandfangsprøver fra Bergen. Dataene viser partikkelstørrelsen ( $\mu\text{m}$ ) for gjennomsnittet, 10 %, 50 % og 90 % av prøvematerialet.**

Prøve	Gj.snitt	10 %	Median	90 %	Prøve	Gj.snitt	10%	Median	90 %
1	623,8	14,83	438,6	1604	40	615,5	16,54	511,7	1453
6	698,4	9,140	550,0	1712	45	703,2	29,30	599,3	1583
8	670,2	26,66	586,2	1435	47	439,0	4,917	275,9	1157
12	419,8	12,89	164,0	1303	51	371,4	8,448	256,3	918,8
13	389,1	18,75	171,0	1129	53	77,75	2,074	23,18	139,4
17	197,1	3,540	48,70	614,6	56	586,3	8,045	341,5	1569
21	88,05	3,119	23,92	160,4	61	514,0	13,17	337,5	1321
22	503,3	9,161	285,5	1333	65	416,7	5,315	99,52	1376
23	460,6	32,50	231,7	1297	67	89,71	1,956	19,77	215,7
37	729,1	22,95	646,7	1608	68	267,9	5,051	69,70	857,1
38	459,2	6,132	226,3	1295					



**Figur 8.** Diagram som viser kumulativ fordeling av kornstørrelse ( $\mu\text{m}$ ) i sandfangsprøver fra Bergen. Merk den logaritmiske skalaen på x-aksen.





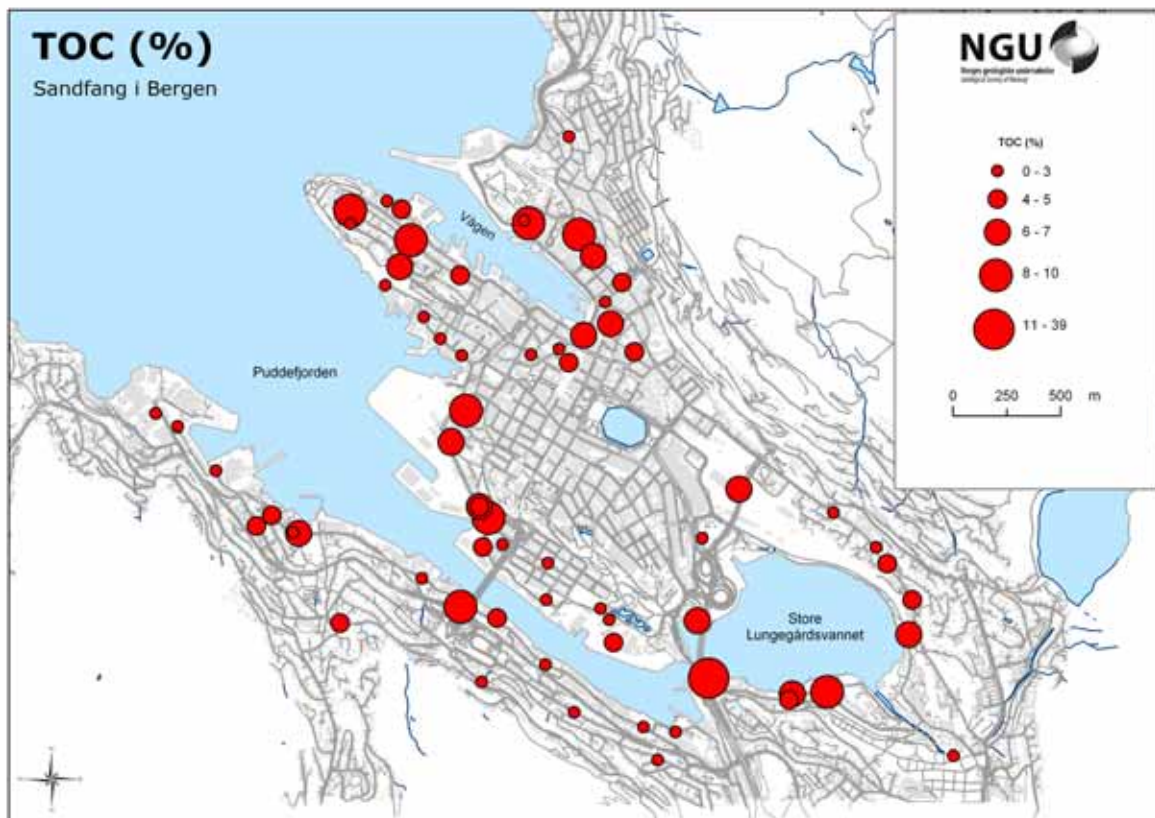
**Figur 9. Diagram som viser kumulativ fordeling av kornstørrelse ( $\mu\text{m}$ ) i sandfangsprøver fra Bergen. Merk den logaritmiske skalaen på x-aksen.**

Generelt er det mye finkornet materiale i sandfangsprøvene. Suspendert materiale, dvs. materiale som kan holdes svevende av turbulens og strømminger i vann, omfatter leire, silt og finsand opp mot  $250 \mu\text{m}$  (NVE). Slikt materiale kan lett fraktes over relativt store distanser med overvannet. Slike materialer kan også ha kort eller lang oppholdstid i sandfangskommene avhengig av vannføringen. I flere av prøvene går det fram at den delen av prøven som består av materiale mindre enn  $250 \mu\text{m}$  utgjør fra 25 % (prøve 8, 37 og 45) helt opp til 95 % (prøve 21, 53 og 67).

Medianverdien for kornstørrelse i prøvene varierer fra  $23 \mu\text{m}$  til  $646 \mu\text{m}$ . Mest typisk verdier ligger området  $250 - 300 \mu\text{m}$ . Betydelig deler av sandfangsmassene er finkornet og tilgjengelig for transport i suspensjon.

Kornfordelingskurvene for sandfangsmassene er bimodale. Prøvene som drenerer mot Store Lungegårdsvann har de grove fraksjonene  $1000 - 2000 \mu\text{m}$  og  $500 - 1000 \mu\text{m}$  som hyppigst forekommende kornfraksjon. Rundt indre del av Puddefjorden og ut til Laksevåg og rundt Vågen er sandfangsmassene dominert av finfraksjonen  $2 - 63 \mu\text{m}$ . I området Nøstet Verftet er massene grove, med  $500 - 1000 \mu\text{m}$  og  $1000 - 2000 \mu\text{m}$  som de hyppigste fraksjoner.

#### 4.2.2 Innholdet av total organisk karbon (TOC) i sandfangsmaterialer



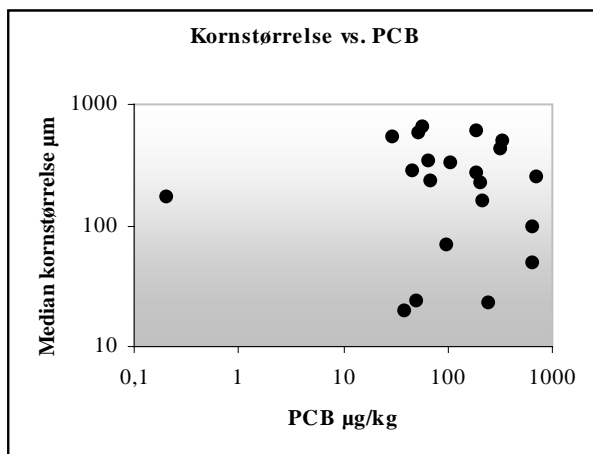
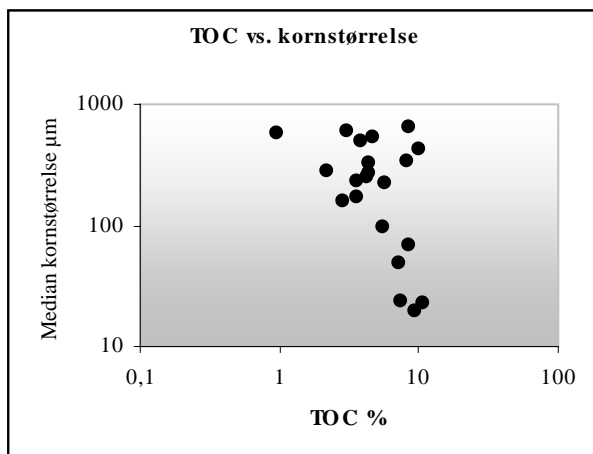
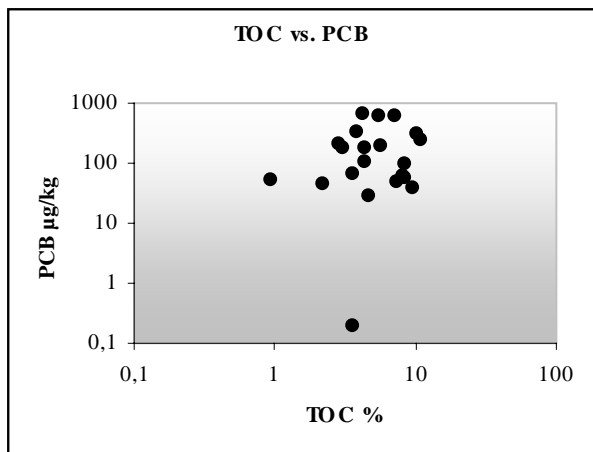
Figur 10. Kartet viser innholdet av total organisk karbon (TOC) i 64 prøver av sandfangsmateriale fra området rundt Bergen havn. Generelt er innholdet av TOC høyt i sandfangsmaterialet sammenlignet med for eksempel byjord.

Tabell 5. Statistiske parametre for innholdet av TOC i sandfangsmaterialer

	TOC %
Aritm.gjennomsnitt	5,2
Medianverdi	4,3
Min.	0,4
Max.	39

Sandfangsmassene består hovedsakelig av minerogent materiale. Medianverdien for innholdet av organisk materiale (TOC) er 4,3 % (Tabell 5) med en spredning fra 0,4 til 39 %. Prøven med den høyeste TOC-verdi inneholdt store mengder sponplatebiter.

Det er ingen god sammenheng mellom innholdet av organisk materiale i prøvene (TOC %) og kornstørrelse og mellom kornstørrelse og PCB. Innholdet av PCB i prøvene samvarierer med TOC (se figur 11). Samvariasjonen mellom TOC og PCB kan også ses i loadingplottet i figur 12.



**Figur 11. XY-plott av innholdet av: 1) organisk materiale versus medianverdi av kornstørrelse i sandfangsprøvene, 2) TOC versus PCB og 3) medianverdi av kornstørrelse versus PCB.**

#### 4.2.3 Estimat over andel antropogene bestanddeler i sandfangsmassene

Empirisk erfaring fra prøvetaking og kjemisk analyse av naturlig materiale (jord og sedimenter) har klart demonstrert av forholdet mellom syreløselighet av cerium (Ce) and lantan (La) er ca. 2 ( $Ce/La = 2$ ) (NGU upublisert materiale). Empiriske data har også klart vist at unormale Ce/La-forhold opptrer når innholdet av antropogene partikler (avfall,

bygningrester, maling etc) forekommer innblandet i naturlige masser. Unormale forhold betyr  $Ce/La < 1,8$  eller  $Ce/La > 2,2$ .

Sandfangmassene i Bergen har Ce/La-forhold som varierer fra 1,12 til 2,22 med en medianverdi på 1,98.

De fleste sandfangsprøvene består hovedsakelig naturlige masser (jord og sedimenter) iblandet varierende mengder malingsflak, murpuss, veistøv, bilgummi og sandblåsesand etc. Prøve nr 23 fra Laksevåg verft avviker mest fra naturtilstand og består for en stor del av brukt sandblåsesand.

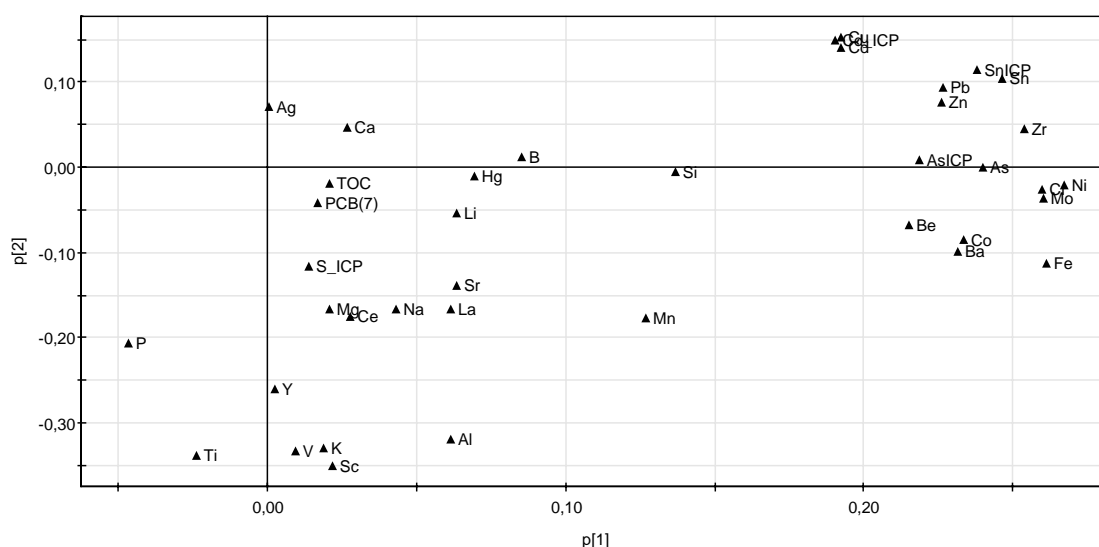
### 4.3 Statistisk oversikt over resultatene

Tabell 6 og figur 12 viser en oversikt over resultatene fra sandfangsundersøkelsene rundt Bergen havn. Utfyllende resultater for PCB og tungmetaller/TOC finnes i egne kapitler, samt vedlegg hvor også koordinatene til sandfangsprøvene er gitt.

**Tabell 6. Kort oversikt over enkle, statistiske parametre for PCB, 9 viktige grunnstoffer samt TOC fra 68 sandfangsprøver i Bergen.**

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	Zn	PCB	TOC
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	%
<b>Ar.snitt</b>	6,5	1,13	30	273	0,20	32	126	18,8	698	91	5,2
<b>Median</b>	3,7	0,42	25	97	0,06	24	61	6,2	403	31	4,3
<b>Min</b>	<1	0,02	11	16	<0,01	7	9	<3	51	<0,4	0,4
<b>Max</b>	56	11,1	135	6600	2,81	309	675	444	4670	704	39

Figur 12 viser et loading plott fra en prinsipalkomponentanalyse (PCA) utført på innholdet av PCB, tungmetaller og TOC i 68 sandfangsprøver. De komponentene som ligger nær hverandre i plottet samvarierer i datasettet.



**Figur 12.** Loading plott som viser PCB, tungmetaller og TOC fra sandfangsprøver i Bergen for første og andre PCA-komponent. Avstanden mellom ulike stoffer i plottet angir grad av samvariasjon.

Det går fram av figur 12 at innholdet av PCB samvarierer godt med innholdet av total organisk karbon (TOC) i sandfangsprøvene. Innholdet av kvikksølv (Hg) har også noenlunde god korrelasjon til TOC. Ellers går det fram at de typiske miljøgiftene man finner i urbane områder, som bly (Pb), sink (Zn), kadmium (Cd) og kobber (Cu) til en viss grad samvarierer innbyrdes.

Figur 12 viser to hovedgrupper med komponenter som samvarierer. Den første gruppa består av komponentene PCB, TOC, Ca, Mg, Na, Sr, Ce, La, Li og Hg. Denne gruppa omfatter grunnstoffer som kan knyttes til sement/murpuss. Grunnstoffene As, Be, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zr og Zn utgjør den andre gruppen. I denne gruppa finnes klare malingskomponenter som Pb, Zn, Ba, Zn og Zr. Konsentrasjonen av metaller er omtrent på samme nivå som finnes i byjorda i den sentrale del av Bergen. Unntaket er Zn som opptrer i høyest konsentrasjon i sandfangsmaterialene.

#### 4.4 PCB i sandfang rundt Bergen havn

Tabell 7 viser innholdet av PCB (7 ulike kongenere + PCB<sub>7</sub>) i 68 sandfangsprøver fra Bergen. Totalsummen i siste kolonne er altså PCB<sub>7</sub>, og denne verdien er ikke omregnet til total PCB.

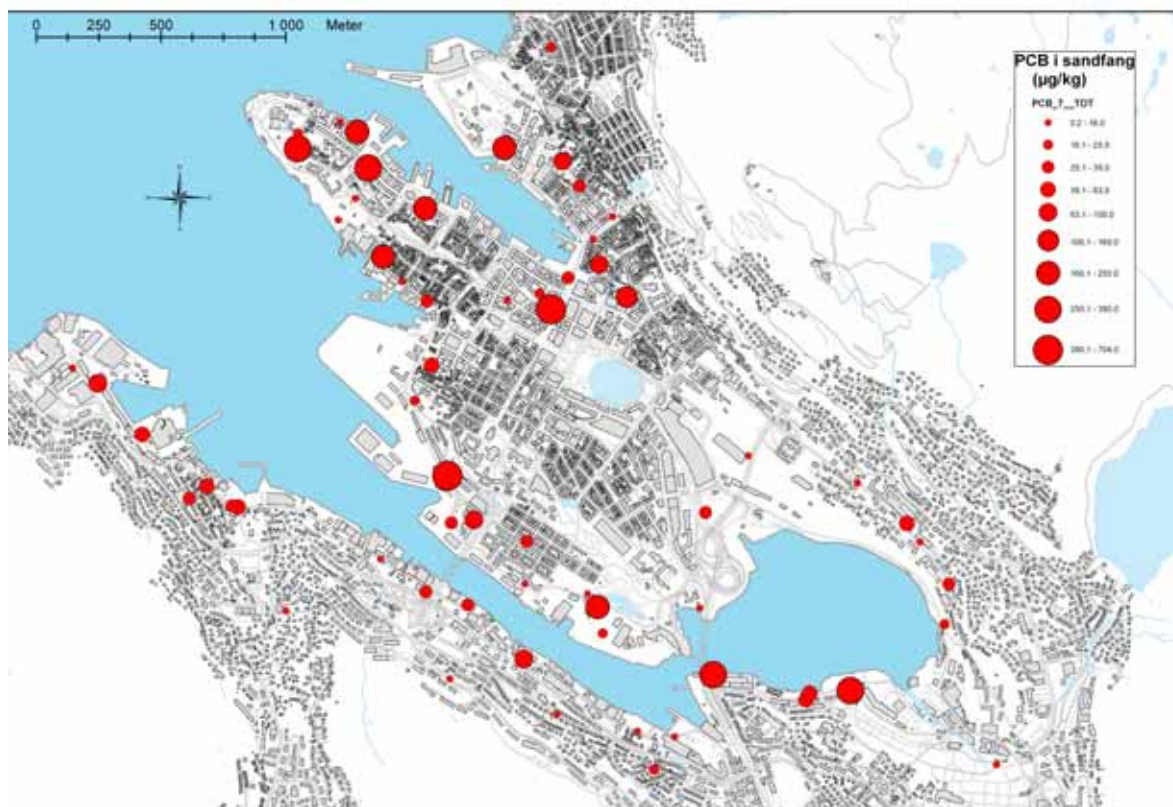
Tabell 7. Tørrstoffinnhold (%) og konsentrasjon av 7 PCB-kongenere og PCB<sub>7</sub> (µg/kg) i prøver fra 68 sandfang i Bergen (se Figur 5).

Prøve-nummer	Tørrstoff (%)	PCB 28 (µg/kg TS)	PCB 52 (µg/kg TS)	PCB 101 (µg/kg TS)	PCB 118 (µg/kg TS)	PCB 138 (µg/kg TS)	PCB 153 (µg/kg TS)	PCB 180 (µg/kg TS)	PCB (7) Totalsum (µg/kg TS)
1	40,6	5	35	65	48	70	54	40	317
2	63,7	0,5	4	6	4	6	11	7	40
3	54,3	1	3	9	4	19	13	10	59
4	78,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,4
5	57,5	0,5	2	3	2	5	4	3	18
6	58,1	1	2	6	6	7	5	3	30
7	59,5	0,5	0,5	0,5	0,5	4	2	6	13
8	71,9	0,5	0,5	3	1	8	14	25	53
9	61,6	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	0,5	4
10	76,9	0,5	0,5	4	1	10	11	8	35
11	64,8	2	7	2	1	5	5	3	25
12	68,5	2	28	45	39	48	33	15	211
13	60,2	0,5	0,5	0,5	0,5	2	0,5	0,5	<0,4
14	69,9	0,5	0,5	1	0,5	2	1	0,5	4
15	55,3	0,5	3	6	3	8	7	5	31
16	66,7	0,5	10	19	17	25	16	8	94
17	59,9	1	19	83	32	210	165	137	648
18	52,6	1	3	6	3	12	8	6	39
19	44,6	0,5	2	7	2	15	11	8	46
20	56,5	0,5	0,5	5	2	9	7	5	28
21	52,7	2	4	10	5	13	11	7	51
22	72,7	0,5	3	7	3	14	11	6	45
23	71,5	6	9	12	13	15	8	4	69
24	77,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,4
25	64,3	0,5	0,5	3	1	5	4	3	15
26	72,5	0,5	0,5	2	1	3	3	2	12
27	60,1	4	3	5	3	8	7	4	35
28	70,8	5	3	4	2	7	4	3	27
29	66	1	8	15	10	20	14	8	76
30	83	0,5	0,5	2	0,5	2	2	0,5	5
31	74,4	0,5	0,5	2	1	3	2	1	9
32	59,4	0,5	0,5	4	1	7	6	5	23
33	73	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,4
34	17,2	15	15	33	15	91	80	58	306
35	63,3	0,5	0,5	3	1	5	4	2	15
36	57,3	2	1	3	2	5	5	4	22
37	34,7	7	5	9	5	13	12	8	58

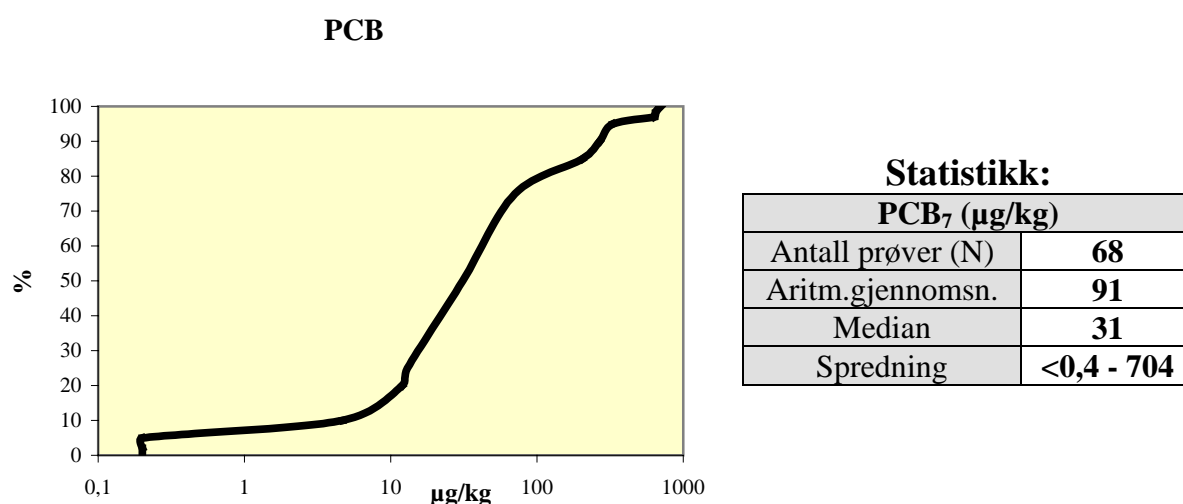
... forts. tabell 7

Prøve- nummer	Tørrestoff (%)	PCB 28 (µg/kg TS)	PCB 52 (µg/kg TS)	PCB 101 (µg/kg TS)	PCB 118 (µg/kg TS)	PCB 138 (µg/kg TS)	PCB 153 (µg/kg TS)	PCB 180 (µg/kg TS)	PCB (7) Totalsum (µg/kg TS)
38	48,4	2	13	33	19	56	48	33	206
39	41,1	2	2	4	2	5	3	2	21
40	48,9	3	49	72	66	74	52	18	333
41	60,5	2	0,5	2	2	3	3	1	12
42	78,2	0,5	0,5	1	0,5	3	2	2	8
43	46,4	4	1	3	1	13	8	9	39
44	64,2	2	0,5	2	1	4	3	3	15
45	66,1	1	2	15	7	48	51	59	185
46	75,2	0,5	0,5	1	0,5	2	2	1	6
47	50,6	4	15	35	26	48	37	21	186
48	67,4	0,5	1	2	2	3	2	1	12
49	45,5	1	28	54	46	63	40	20	252
50	51,8	0,5	2	3	2	6	4	3	20
51	50,1	0,5	20	98	38	236	182	131	704
52	50,4	1	3	5	4	9	6	3	31
53	36,9	2	15	52	49	70	43	13	243
54	76,3	0,5	1	3	3	4	2	0,5	13
55	67,4	0,5	1	3	2	6	5	3	22
56	51,1	1	3	10	7	19	16	10	65
57	46,2	1	2	4	3	8	5	3	26
58	59,7	0,5	3	2	0,5	1	4	0,5	9
59	65,1	0,5	0,5	2	1	4	2	1	11
60	26,5	1	4	3	3	25	16	13	64
61	54,1	0,5	0,5	13	10	52	11	18	104
62	60,9	0,5	3	7	4	12	7	4	36
63	83,9	0,5	0,5	2	2	5	4	1	14
64	76,1	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	0,5	<0,4
65	57,5	<1	17	79	29	212	162	136	635
66	41,9	<1	7	45	14	107	88	64	325
67	50,8	16	2	3	3	6	5	4	39
68	38,5	21	34	4	5	15	10	9	98

Kartbildet på neste side viser innholdet av PCB<sub>7</sub> i 64 sandfangsprøver tatt i området rundt Bergen havn (figur 13). Det er også tatt med en kumulativ frekvensfordelingskurve for PCB-dataene, og enkel statistikk (figur 14).



Figur 13. Kart over Bergen havn som viser konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> i 64 sandfangsprøver. Konsentrasjonsklassene er angitt til høyre på figuren. Den minste konsentrasjonsklassen omfatter ca. 1/3 av prøvene, mens de resterende konsentrasjonsklassene utgjør en 5-delning av tierpotensen.

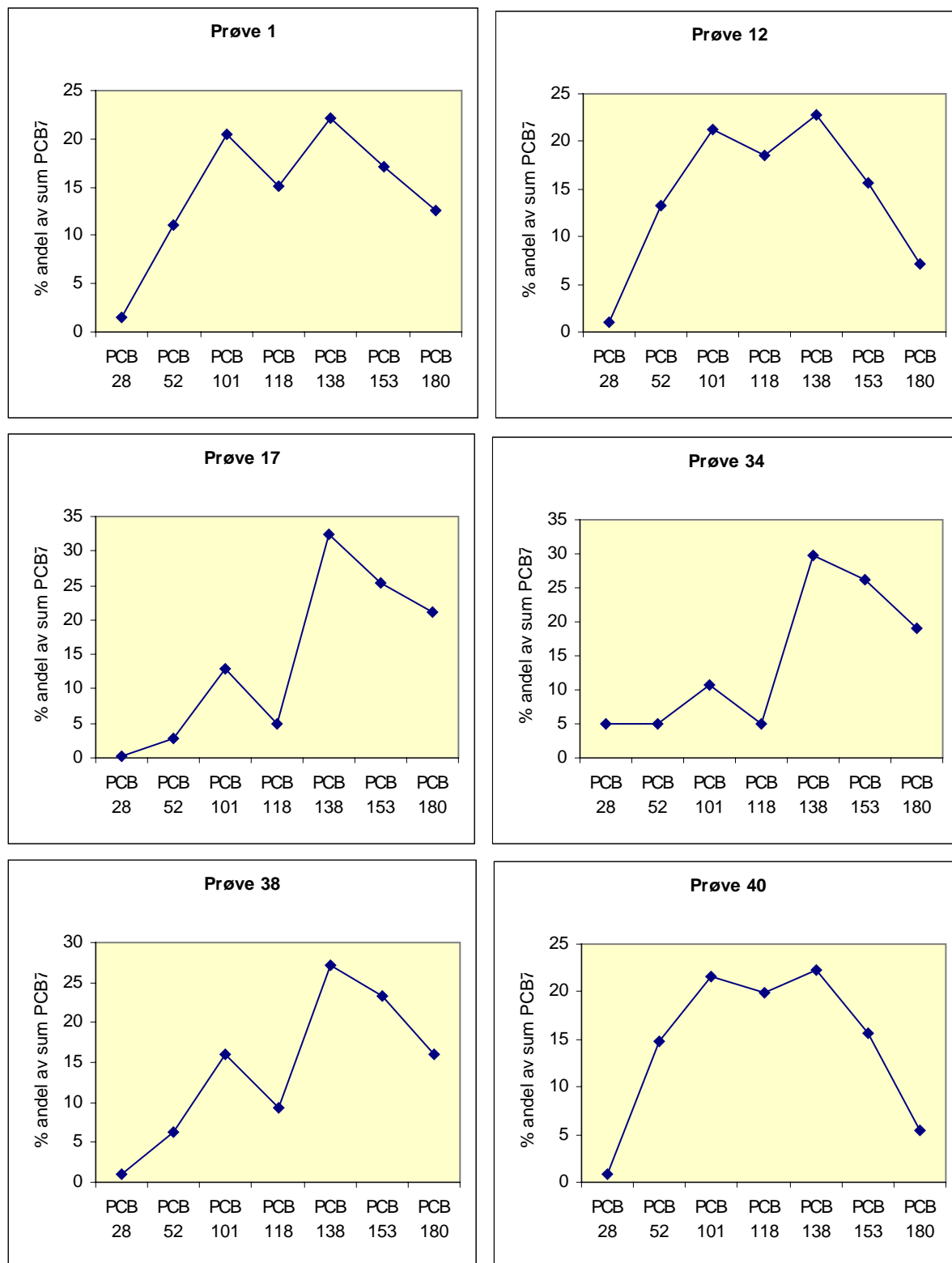


Figur 14. Kumulativ frekvensfordeling som viser konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> (µg/kg) i gitte prosentandeler av prøvematerialet. Kurven er relativt flat, dvs. at det er flere sannsynlige kilder til PCB, og at konsentrasjonsnivået varierer relativt mye i det prøvetatte området. Tabellen gir en enkel statistisk oversikt over resultatene fra bestemmelsen av PCB<sub>7</sub> i 68 sandfangsprøver fra området rundt Bergen havn.

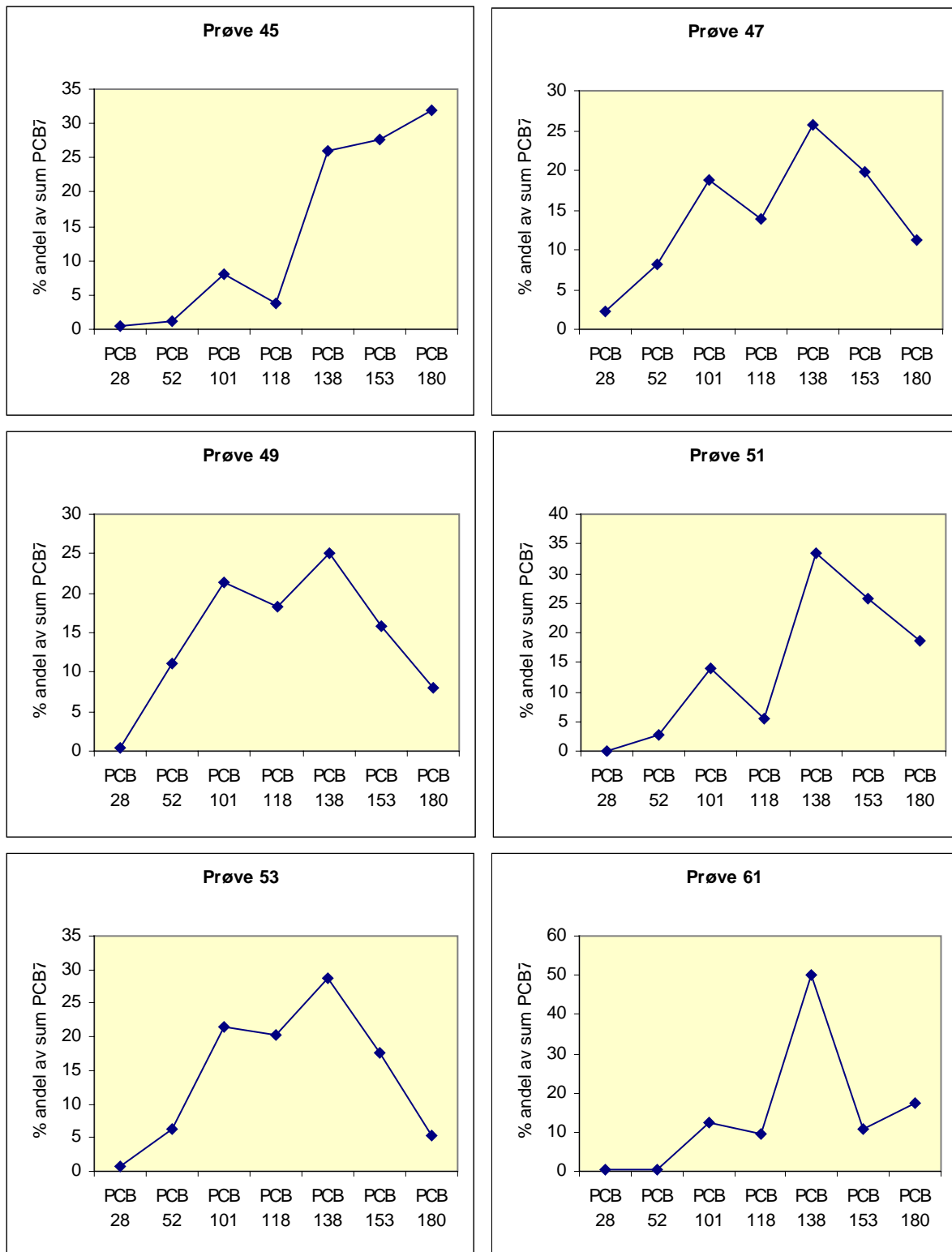


#### 4.4.1 PCB-profiler fra sandfangsprøver

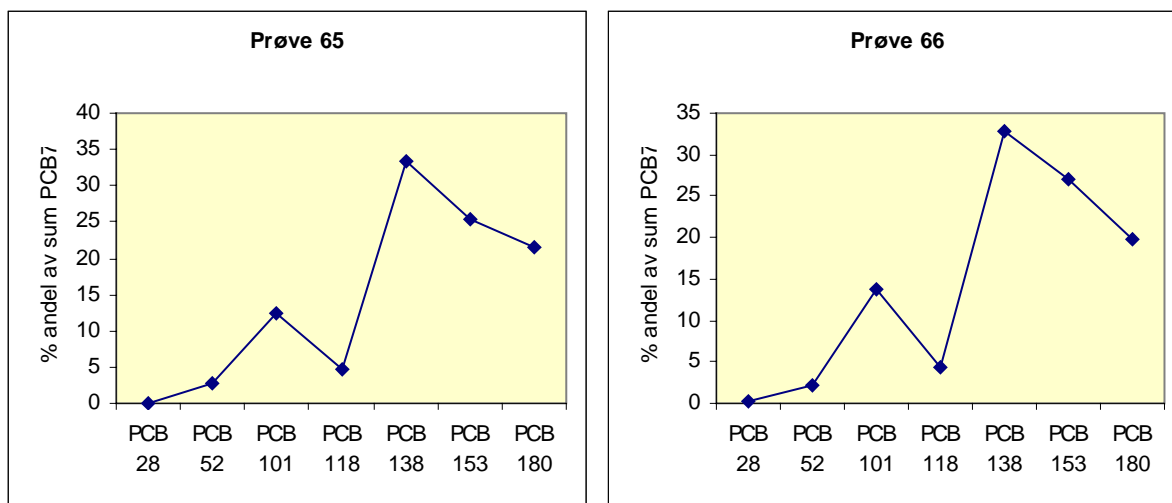
Figurene under viser PCB-profilene fra sandfangsprøvene med en PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon over 100 µg/kg. Figurene indikerer to hovedtyper PCB: Kanechlor KC-500 og Clophen A60.



Figur 15. PCB-profiler av prøvene 1, 12, 17, 34, 38 og 40 som alle hadde en konsentrasjon av PCB<sub>7</sub> over 100 µg/kg. Profilene viser andelen av de 7 ulike PCB-kongenerne i forhold til konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub>.



**Figur 16. PCB-profiler av prøvene 45, 47, 49, 51, 53 og 61 som alle hadde konsentrasjoner av PCB<sub>7</sub> over 100 µg/kg. Profilene viser andelen av de 7 ulike PCB-kongenerne i forhold til konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub>.**



Figur 17. PCB-profiler av prøvene 65 og 66 som begge hadde konsentrasjoner av PCB<sub>7</sub> over 100 µg/kg. Profilene viser andelen av de 7 ulike PCB-kongenerne i forhold til konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub>.

## Kommentarer

### PCB i sandfang rundt Bergen havn

Det ble påvist PCB i 63 av 68 prøver av sandfangsmateriale, dvs. i 93 % av prøvene. Sammenlignet med byjordsundersøkelser som NGU har foretatt i Bergen og andre norske byer tidligere, er dette et høyt antall. I tidligere undersøkelser har det enten blitt påvist høye konsentrasjoner eller konsentrasjoner under deteksjonsgrensen. I sandfangsprøvene spenner konsentrasjonsnivået seg jevnt fra deteksjonsgrensen på 0,4 µg PCB<sub>7</sub>/kg til den høyeste påviste konsentrasjonen på 704 µg PCB<sub>7</sub>/kg. 14 av 68 prøver (21 %) har en konsentrasjon av PCB<sub>7</sub> på over 100 µg/kg, som kan anses som relativt høyt.

De 4 siste prøvene i tabell 7 (nr. 65 – 68) ble tatt under en oppfølgende undersøkelse i etterkant av prøvetakingen av de 64 prøvepunktene som er vist i figur 5. Disse prøvene er:

Nr. 65: en duplikatprøve av prøve 17, hvor det i første runde ble påvist en PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon på 648 µg/kg. Oppfølgende undersøkelse bekreftet det høye innholdet av PCB (635 µg/kg).

Nr. 66: en prøve av et sandfang i samme området som prøve 17 og 65, men med noe annerledes nedslagsfelt. Denne ble tatt for å begynne på en karakterisering av eventuelle kilder til PCB. Prøven hadde en PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon på 325 µg/kg, noe som tyder på at det er en aktiv kilde til PCB-forurensning i dette aktuelle området.

Nr. 67: en prøve fra sandfangsbassenget til Statens vegvesen i Rådalen deponi. Her dumpes sandfangsmaterialer som er blitt sugd opp fra aktuelle sandfang i vegvesenets ansvarsområde, bl.a. fra de største veiene. Materialet som finnes her vil representere et grovt gjennomsnitt av PCB-innholdet fra hele vegvesenets nett av sandfang. Konsentrasjonen var relativt lav (39 µg/kg).

Nr. 68: en prøve fra sandfangsbassenget til Bergen kommune i Rådalen deponi. Her dumpes sandfangsmaterialer som er blitt sugd opp fra aktuelle sandfang i kommunens ansvarsområde, bl.a. fra sentrale deler av Bergen by. Det er grunn til å tro at disse materialene vil inneholde

kjemiske spor som representerer mer aktuelle kilder til forurensning enn vegvesenets sandfang. Resultatet indikerer også dette, da det ble påvist 98 µg PCB<sub>7</sub> /kg i dette sandfangsbassenget, 3 ganger så høyt som vegvesenets basseng. Innholdet av PCB i kommunens sandfangsbasseng kan representere et grovt gjennomsnitt av hele det prøvetatte området vist i figur 1, noe som også stemmer bra overens med de statistiske parametrene.

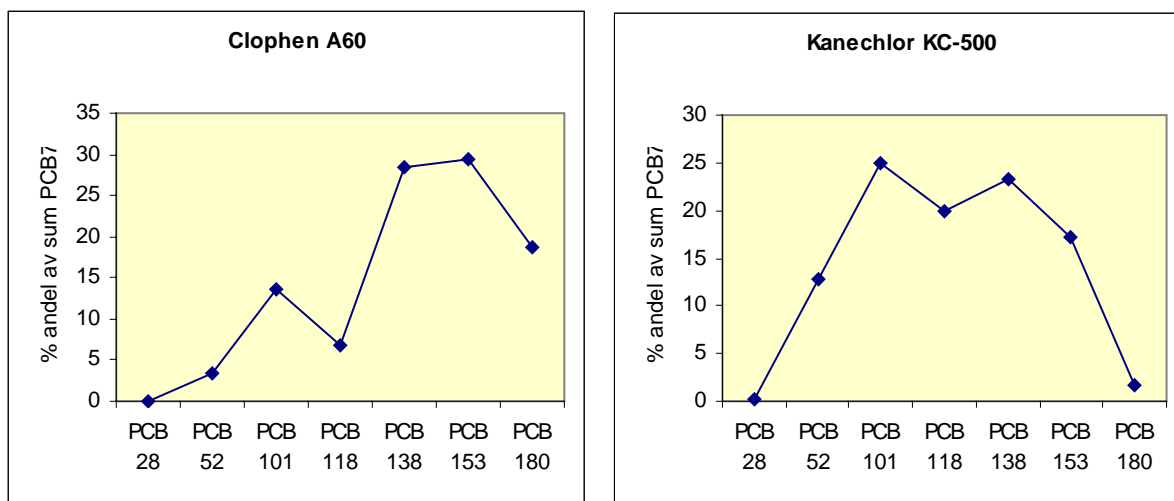
Kartbildet i figur 13 viser konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> i sandfangskummene rundt Bergen havn. De høyeste konsentrasjonene ser ikke ut til å være fra spesielle områder, men de er jevnt fordelt over hele prøvetakingsområdet. Dette tyder på at det er aktive PCB-holdige forurensningskilder i hele området som bidrar med spredning av PCB både til bymiljøet på land og til sedimentene i havnebassenget. Sandfangsprøvene representerer et materiale som er "underveis" til ett eller annet sted, og resultatene viser at spredningen av PCB fra kilder på land er vesentlig.

### **PCB-profiler fra sandfangsprøver**

PCB-profilene fra de 14 prøvene med konsentrasjon av PCB<sub>7</sub> over 100 µg/kg viser 3 ulike mønstre.

- Den første mønstertypen er tydelig dominert av den tekniske PCB-blandingen Kanechlor KC-500, vist i figuren under. Prøvene 1, 12, 40, 49 og 53 har PCB-profiler som stemmer bra overens med KC-500.
- Den andre mønstertypen er dominert av den tekniske PCB-blandingen Clophen A60, vist i figuren under. Prøvene 17, 34, 51, 65 og 66 har PCB-profiler som stemmer bra overens med Clophen A60.
- Den siste mønstertypen er en blanding av KC-500 og A60. Prøve 38 har en PCB-profil som indikerer 75 % Clophen A60 og 25 % Kanechlor KC-500. Prøve 47 har en PCB-profil som indikerer 50 % av hver av de 2 tekniske blandingene.

Prøvene 61 og 45 havner litt på utsiden av disse tre typene. Prøve 61 har en markert topp på PCB kongener # 138, mens det nesten ikke er påvist noen av de andre kongenerne. I denne prøven ble det ikke påvist PCB i det hele tatt under bestemmelsen av PCB<sub>7</sub> i ulike kornstørrelsesfraksjoner, presentert i det neste kapitlet. Dette kan tyde på deteksjonsproblemer i laboratoriet, noe som kan skyldes interferens fra andre kjemiske stoffer i prøven. Prøve nr. 45 har et mønster som ligner det for Clophen A60 helt til PCB kongener # 180, som er svært høy i denne prøven i forhold til standardprofilet for A60. Dette kan være interferens under den kjemiske bestemmelsen i laboratoriet, eller det kan være innslag fra en annen teknisk PCB-blanding.



**Figur 18. Standardprofiler for de tekniske PCB-blandingene Clophen A60 og Kanechlor KC-500. De fleste sandfangsprøvene, og prøvene av Puddefjordsbrua stemmer bra overens med en av disse to profilene, eller de to i bestemte blandingsforhold.**

Bruken av PCB<sub>7</sub>-profiler for å spore seg tilbake til en gitt PCB-produsent eller teknisk PCB-blanding tar ikke hensyn til eventuell kjemisk/fysisk/biologisk nedbrytning av PCB-molekylene i miljøet. Usikkerheten i analysene av jord, sediment og murprøver er det heller ikke tatt hensyn til.

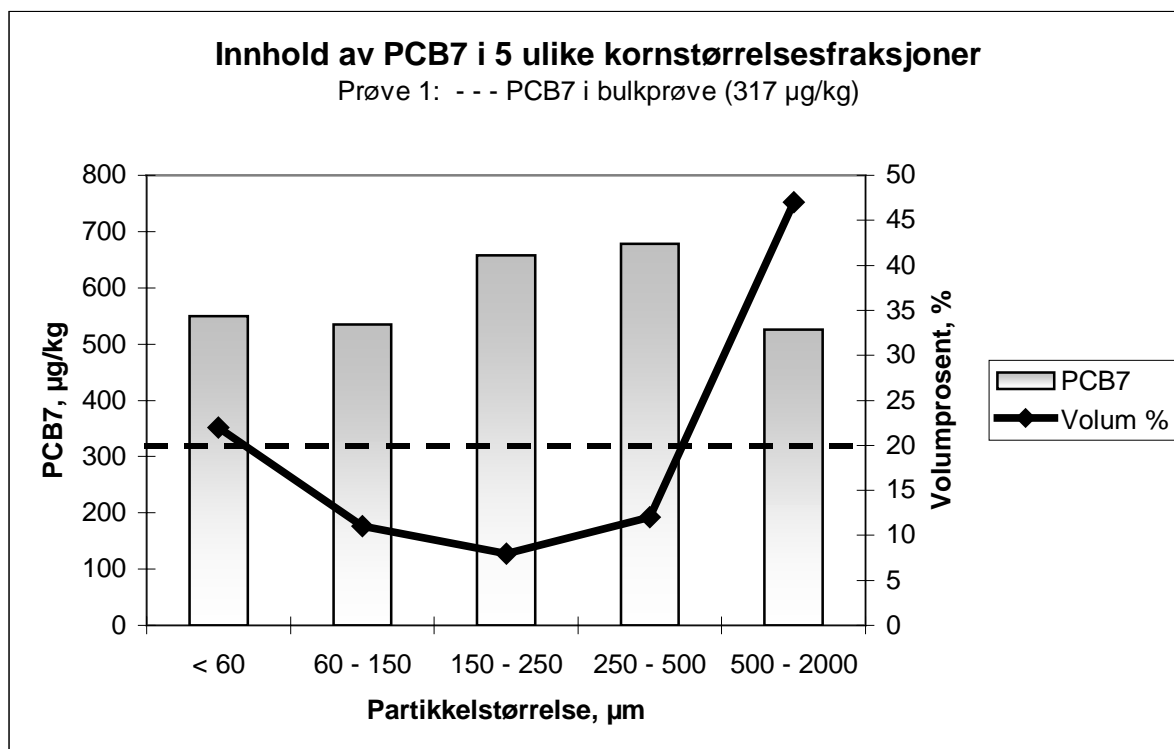
#### 4.4.2 PCB i ulike kornstørrelsesfraksjoner

8 prøver med PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon over 100 µg/kg fra de opprinnelige 64 sandfangsprøvene ble tatt ut for å bestemme i hvilken kornstørrelsesfraksjon det er mest sannsynlig å finne PCB. Resultatene fra denne bestemmelsen er angitt i tabell 8 under.

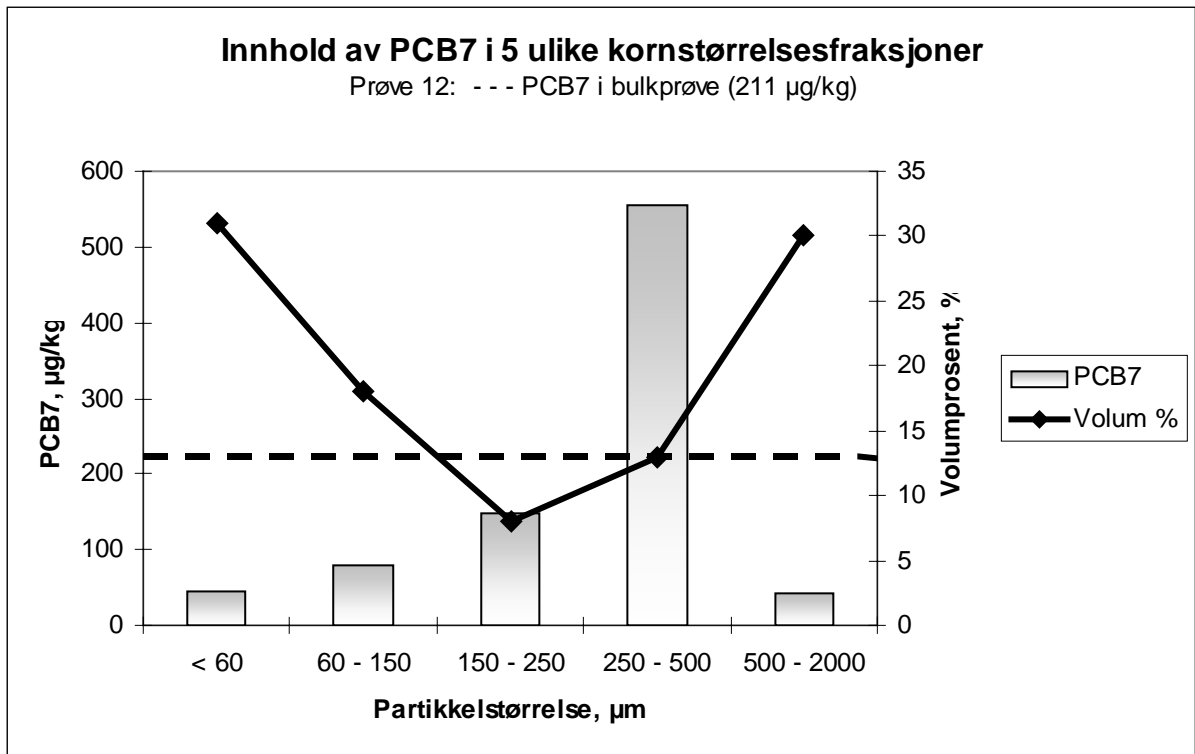
**Tabell 8. PCB<sub>7</sub>-konsentrasjoner i 5 ulike kornstørrelsesfraksjoner fra 8 utvalgte sandfangsprøver**

	< 60 µm	60 – 150 µm	150 – 250 µm	250 – 500 µm	500 – 2000 µm	PCB <sub>7</sub> i oppr. prøve (µg/kg)
1	550	535	658	678	526	317
12	46	78	148	556	42	211
17	388	621	937	971	1600	648
40	300	377	587	1410	1080	333
45	104	124	107	179	135	185
51	1080	1620	6270	1230	3210	704
53	335	200	279	315	394	243
61	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	104

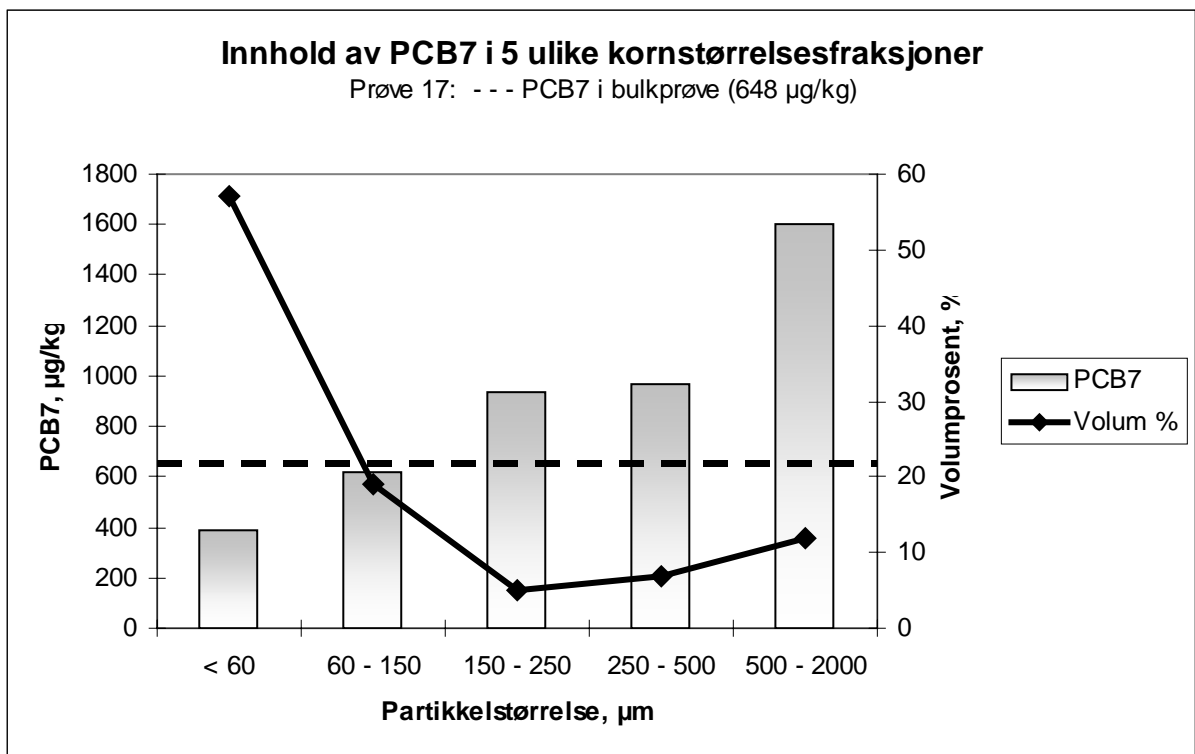
Resultatene fra bestemmelse av PCB<sub>7</sub> i de ulike kornstørrelsesfraksjonene er også framstilt grafisk. Diagrammene tar for seg én og én prøve, der konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> i de 5 kornstørrelsesfraksjonene er plottet som et stolpediagram. Den prikkete linjen angir konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> i det opprinnelige sandfangsmaterialet (bulkprøven). Den svarte linjen angir hvor stor volumprosent av den totale prøven den gitte fraksjonen utgjør. Eksempel: For prøve 1 er det påvist en konsentrasjon av PCB<sub>7</sub> i fraksjonen mindre enn 60 µm på 550 µg/kg, og denne fraksjonen utgjør ca. 22 % av hele prøven. I prøve 61 ble det ikke påvist PCB<sub>7</sub> i noen av fraksjonen til tross for at det ble påvist 104 µg/kg PCB<sub>7</sub> i bulkprøven.



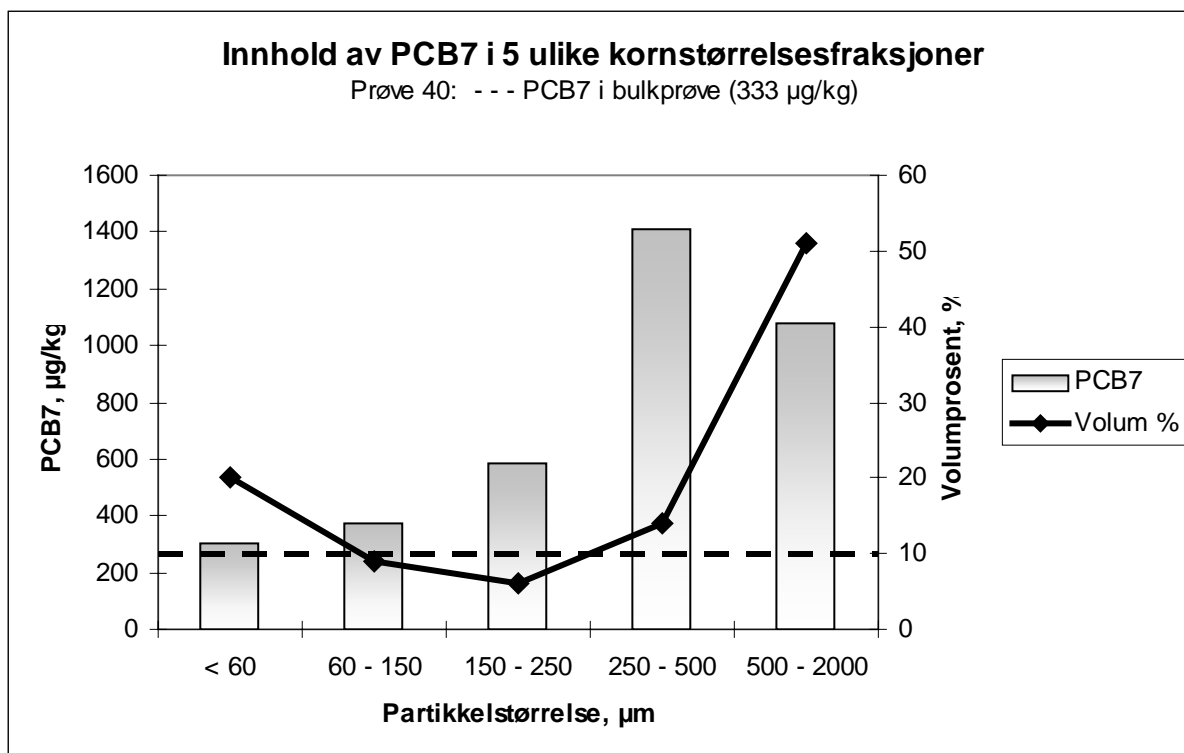
**Figur 19. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 1. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.**



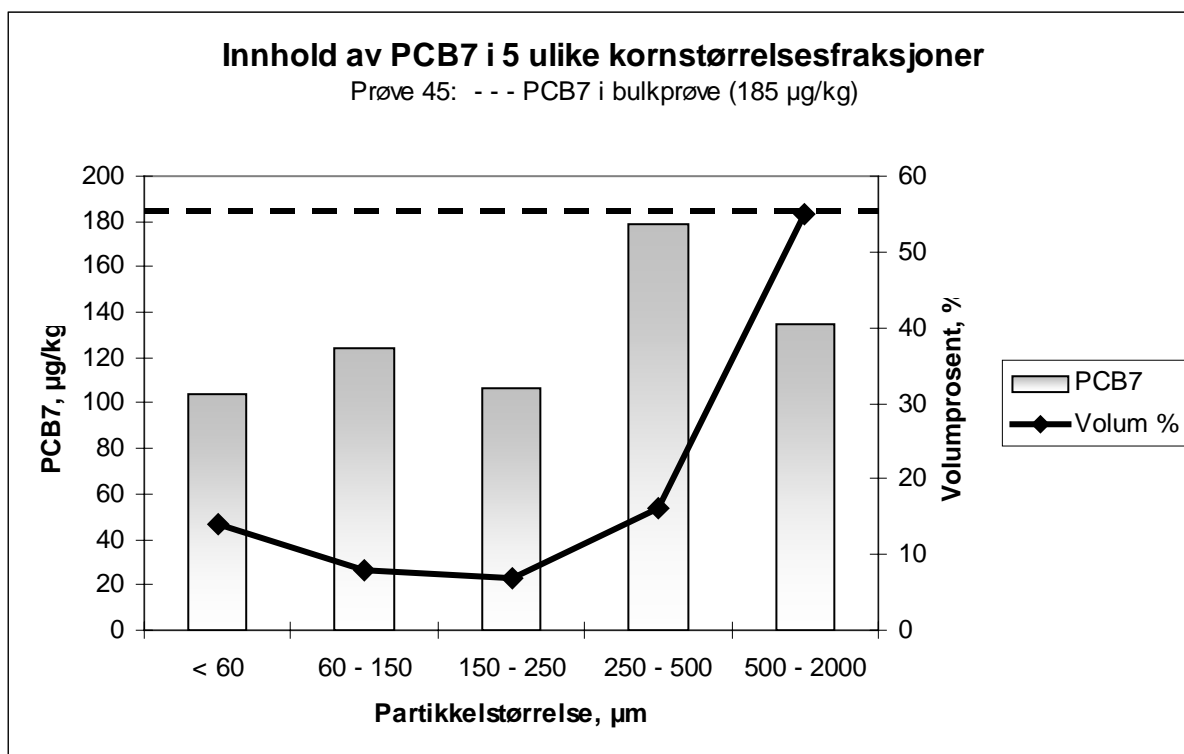
Figur 20. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 12. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.



Figur 21. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 17. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.

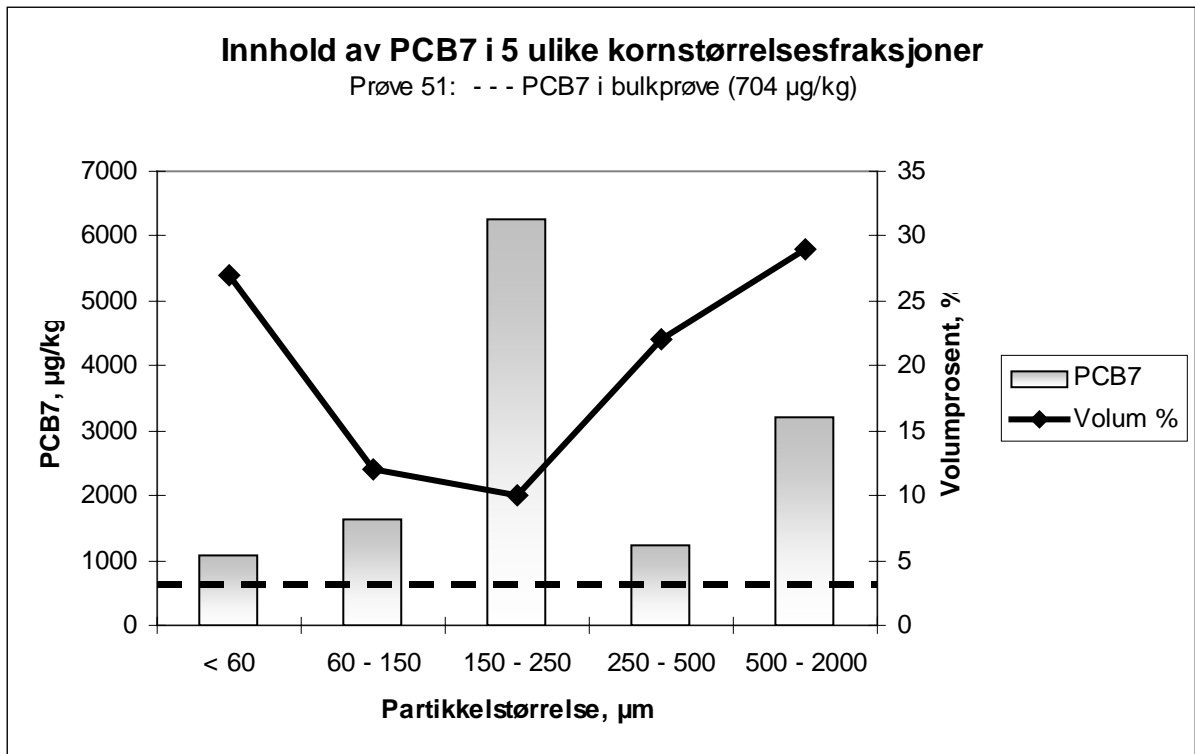


Figur 22. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 40. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.

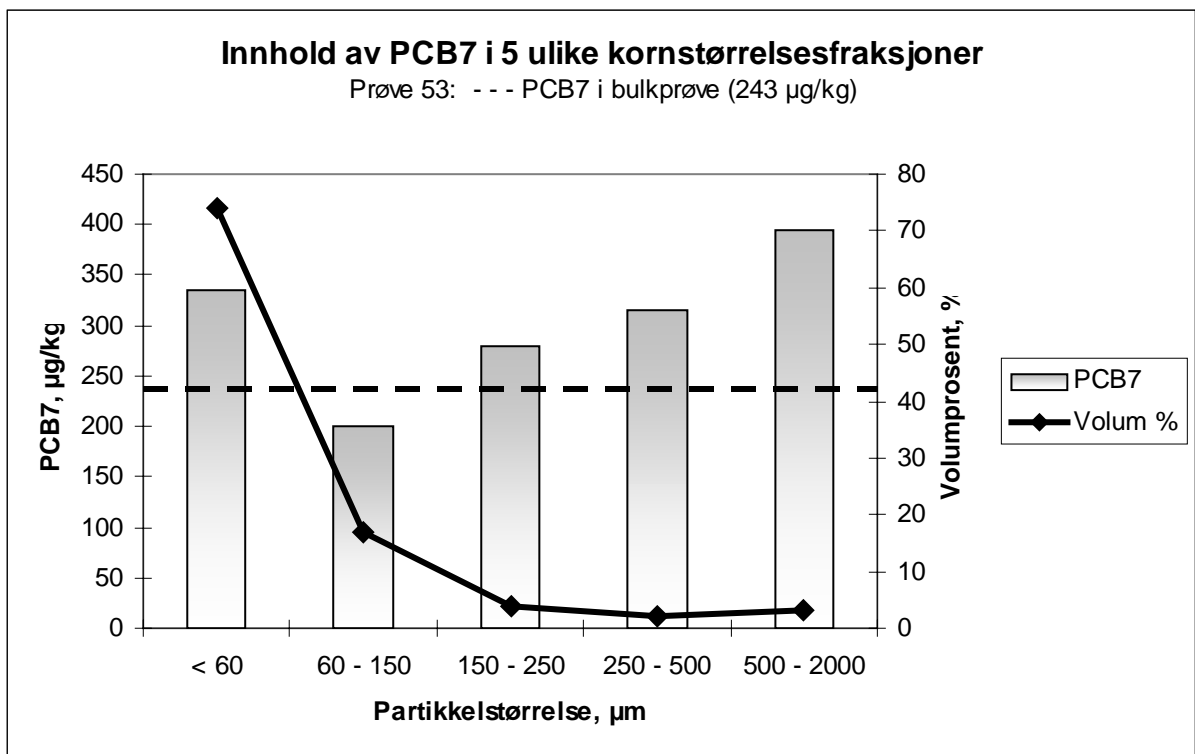


Figur 23. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 45. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.

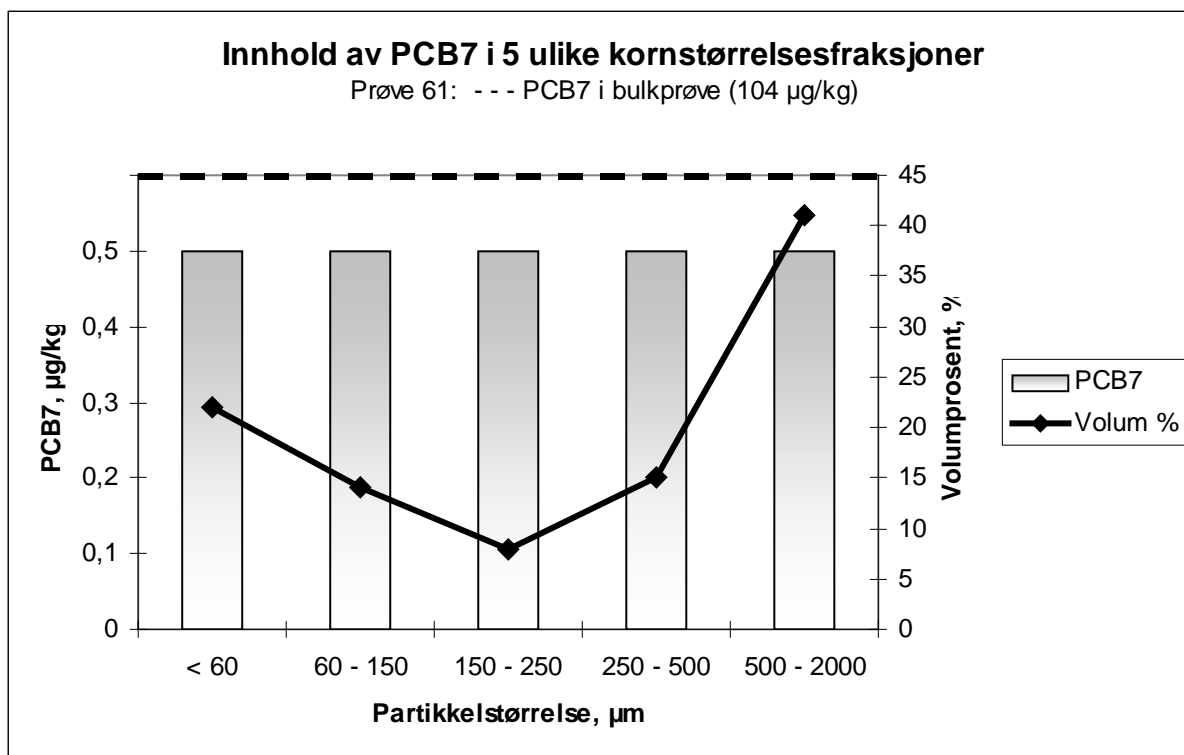




Figur 24. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 51. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.



Figur 25. PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 53. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.



**Figur 26.** PCB<sub>7</sub> i 5 ulike størrelsesfraksjoner fra prøve 61. Svart linje indikerer volumet av den enkelte fraksjonen i forhold til bulkprøve.

## Kommentarer

Det som først og fremst kommer fram av bestemmelsen av PCB<sub>7</sub> i de 8 tørre prøvene etter sandfangsundersøkelsen, er at konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> virker høyere da fraksjonene analyseres hver for seg i forhold til resultatene fra den samlede bulkprøven (tabell 7). Dette gjelder de fleste prøvene, bortsett fra prøve nr. 61, hvor det ikke ble påvist PCB i noen av fraksjonene, mens det ble påvist 104 µg PCB<sub>7</sub>/kg i bulkprøven. Kontrollprøver av tørr bulkprøve er sendt inn for utfyllende analyser.

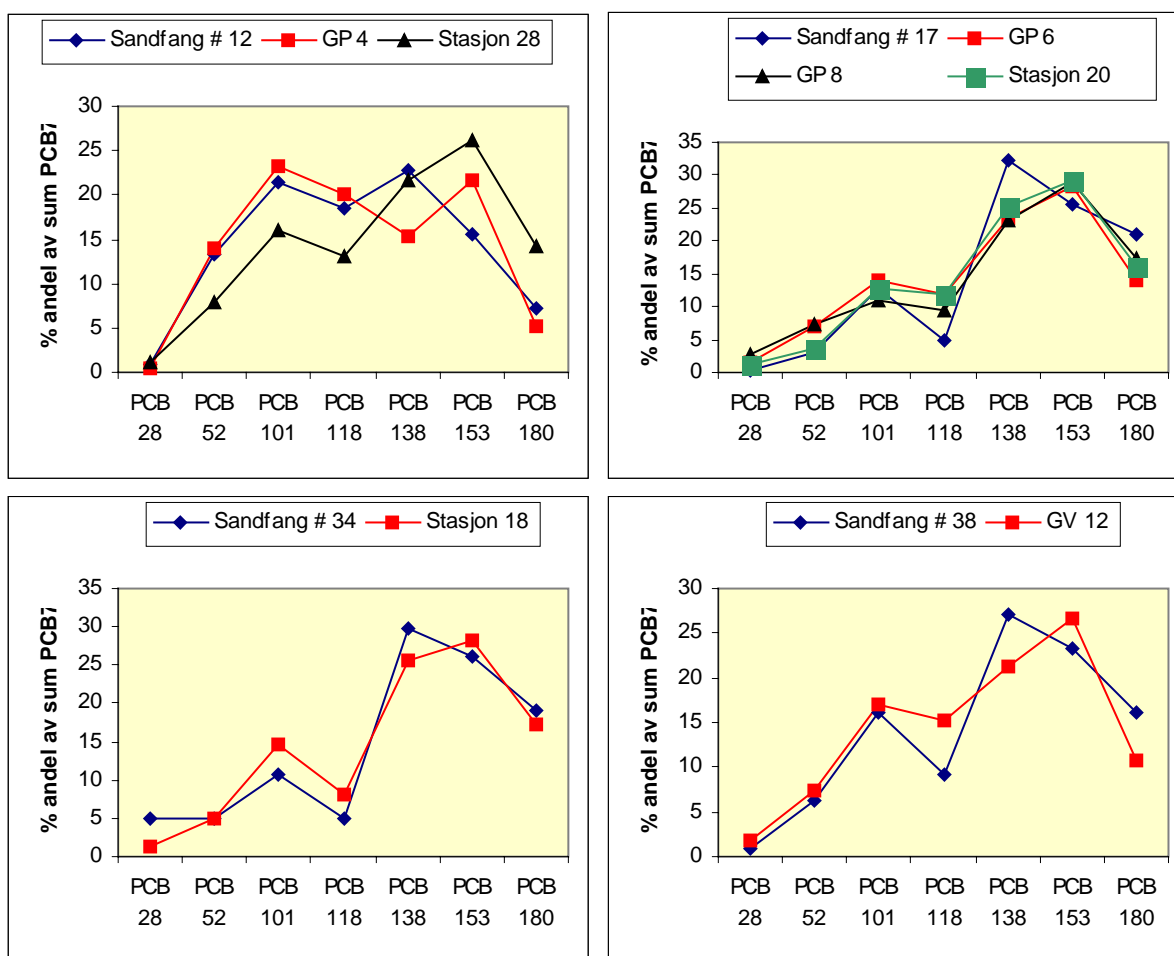
Målet med denne bestemmelsen er å beskrive om PCB-forurensningen sitter på fine eller grove partikler. Hvis man videre sammenligner med kornfordelingsdata kan man beskrive hvilken betydning de ulike fraksjonene har for spredningen av miljøgiften PCB.

Resultatene viser at fordelingen av PCB på ulike kornstørrelser kan variere med mulig kilde. I de områder hvor antatt kilde er bygningsmaterialer (murfasader, maling, betong) forekommer de høyeste PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonene i relativt grove fraksjoner (> 250 µm). I prøve 1, hvor et avfallmottaksanlegg er sannsynlig kilde til PCB, forekommer det like mye PCB i alle de undersøkte fraksjonene.

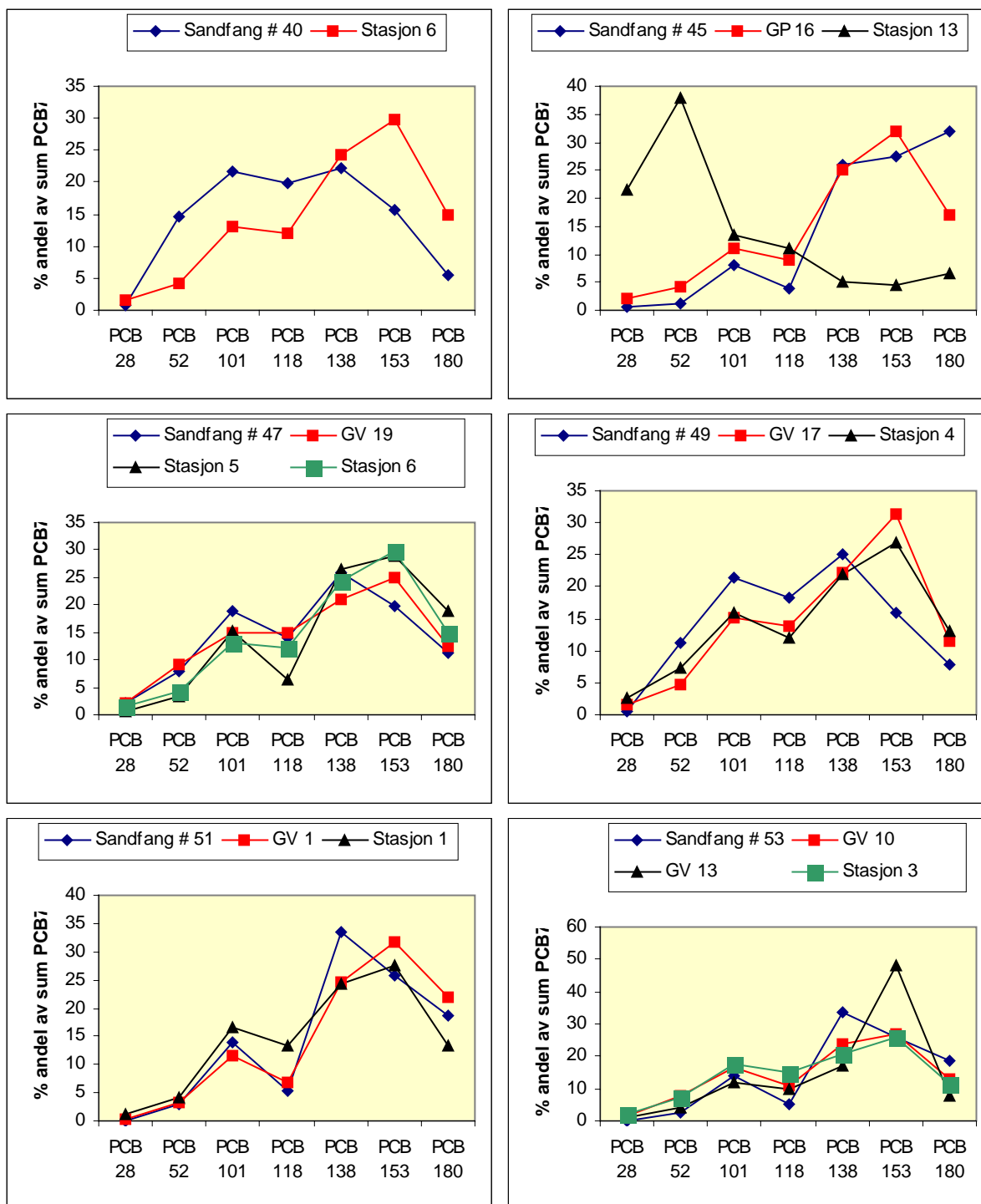
I prøve 1 og delvis prøve 45 er det påvist like mye PCB i alle fraksjonene, slik at det ikke er en spesiell kornstørrelsesfraksjon som er viktigere enn de andre med tanke på spredning. I prøvene 12, 17 og 51 er konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> høyest i de fraksjonene med minst materiale. I prøvene 40 og 53 er konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> høyest i de fraksjonene som utgjør den største andelen av prøven.

#### 4.4.3 PCB-profiler fra sandfang og marine sedimenter

PCB-profiler kan brukes til å sammenligne prøver innbyrdes for å lete etter en eventuell felles kilde eller sammenligne med kjente tekniske PCB-blandinger. I denne undersøkelsen er det også forsøkt å se på PCB-sammensetningen i sandfang og prøver av marine sedimenter fra noenlunde samme område. Her er det selvsagt mange faktorer som kan forstyrre, men det kan gi en liten indikasjon på om PCB-forurensningen fra land har samme sammensetningen som det som er påvist i sjøen like utenfor. I noen av prøvene er det prøver av sandfang og sediment som ligger nær hverandre, i andre tilfeller er det en avstand mellom sandfanget og prøven ute i sedimentene som nok gjør det lite trolig at disse har en felles kilde.



Figur 27. Sammenligning av PCB-profil fra utvalgte sandfangsprøver med prøver av marine sedimenter tatt fra samme område (Tiltaksplan for Bergen havn, 2004).



Figur 28. Sammenligning av PCB-profil fra utvalgte sandfangsprøver med prøver av marine sedimenter tatt fra samme område (Tiltaksplan for Bergen havn, 2004).

## Kommentarer – sammenligning av PCB-profiler for sandfangsprøver og prøver av marine sedimenter

Sammensetningen av de 7 PCB-kongenerene som inngår i bestemmelsen av PCB<sub>7</sub> i ulike prøver er benyttet for å se på eventuelle likheter mellom prøvene. Dette gir kun en liten indikasjon på om PCB-forurensningen kan komme fra samme kilde. Sandfangsprøver med PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon over 100 µg/kg sammenlignes med prøver av marine sedimenter fra

noenlunde samme område. De marine sedimentprøvene er tatt av NIVA/Interconsult/NGI (Tiltaksplan for Bergen havn, 2004). I denne sammenligningen ble sandfangsprøver med en PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon over 100 µg/kg valgt ut. Det er ikke tatt hensyn til konsentrasjonsnivået i de marine sedimentprøvene det er sammenlignet med.

Sandfangsprøve nr. 12 er tatt ved en parkeringsplass ved Nansensenteret på Marineholmen med mulig drenering mot Damsgårdsundet. De marine sedimentprøvene er tatt fra Damsgårdsundet. Det går fram av figuren at de utvalgte prøvene har noenlunde samme sammensetning, en PCB<sub>7</sub>-profil som er dominert av den tekniske PCB-blandingen Kanechlor KC-500.

Sandfangsprøve nr. 17 er tatt ved Dokken med drenering fra Dokkeveien og Bredalsmarken og ut mot Puddefjorden. De marine sedimentprøvene er tatt fra Puddefjorden utenfor. Det går fram av figuren at prøvene har noenlunde lik sammensetning, et PCB<sub>7</sub>-profil dominert av den tekniske PCB-blandingen Clophen A60.

Sandfangsprøve nr. 34 er tatt ved en parkeringsplass ved Nye Nygårdsbroen ved Kunstskolen og Høgskolen i Bergen. Dette sandfanget besto av en god del materialer fra vedlikehold av bygninger, bl.a. spon fra sponplater. Dette ga utslag i et stort innhold av organisk materiale (TOC) på 39 %. Den marine sedimentprøven er tatt fra Solheimsviken/Store Lungegårdsvann rett utenfor. Profilene stemmer bra overens, og er dominert av den tekniske PCB-blandingen Clophen A60.

Sandfangsprøve nr. 38 er tatt i Strandgaten på Nordnes med drenering mot Vågen. I dette området er det ikke sandfang i nederste gatenivå mot Vågen, noe som fører til at alt overvann i dette området går urensset rett ut i sjøen. Den marine sedimentprøven er tatt fra Vågen like utenfor. Det er indikeres et samsvar mellom de to prøvene fra figuren.

Sandfangsprøve nr. 40 er tatt ytterst og øverst på Nordnes i Haugeveien i nærheten av Høgskolen. Denne prøven vil sannsynligvis drenere mot de ytre deler av Vågen, hvor den marine sedimentprøven også er tatt. Det er ikke samsvar mellom de to profilene, da sandfangsprøven domineres av Kanechlor KC-500, mens sedimentprøven domineres av Clophen A60. Dette kan forklares med at avstanden fra toppen av Nordnes og ut i ytre deler av Vågen er stor.

Sandfangsprøve nr. 45 er tatt på en parkeringsplass på Nøstet utenfor Studio Bergen. Denne prøven vil drenere ut mot Puddefjorden, hvor de marine sedimentprøvene også er tatt fra. Profilet i sandfangsprøven stemmer bra overens med en av de marine sedimentprøvene, men ikke med den andre. Dette kan ha noe å gjøre med konsentrasjonsnivåene i de marine sedimentprøvene, eller at det er flere aktive kilder i dette området.

Sandfangsprøve nr. 47 er tatt i enden av Chr.Sundtsgt. ved Tollbodkaiene, og vil drenere mot Vågen. De marine sedimentprøvene er tatt fra Vågen i området utenfor. Profilene til de utvalgte prøvene stemmer noenlunde overens, og profilene er dominert av Clophen A60 i blanding med Kanechlor KC-500.

Sandfangsprøve nr. 49 er tatt fra Strandgaten på Nordnes, og vil drenere mot Vågen. I dette området er det heller ikke sandfang i nederste gatenivå mot Vågen, noe som fører til at alt overvann i dette området går urensset rett ut i sjøen. De marine sedimentprøvene er tatt fra Vågen, og profilene viser at disse to prøvene stemmer bra overens innbyrdes med dominans av Clophen A60, men sandfangsprøven har et noe annet profil dominert av Kanechlor KC-

500. PCB i prøver av jord fra dette området inneholder også blandingen Kanechlor KC-500 (Andersson m.fl., 2002).

Sandfangsprøve nr. 51 er tatt ved Torgallmenningen, og denne prøven vil drenere mot indre deler av Vågen, hvor de marine sedimentprøvene også er tatt fra. Prøvene har noenlunde lik sammensetning, dominert av Clophen A60.

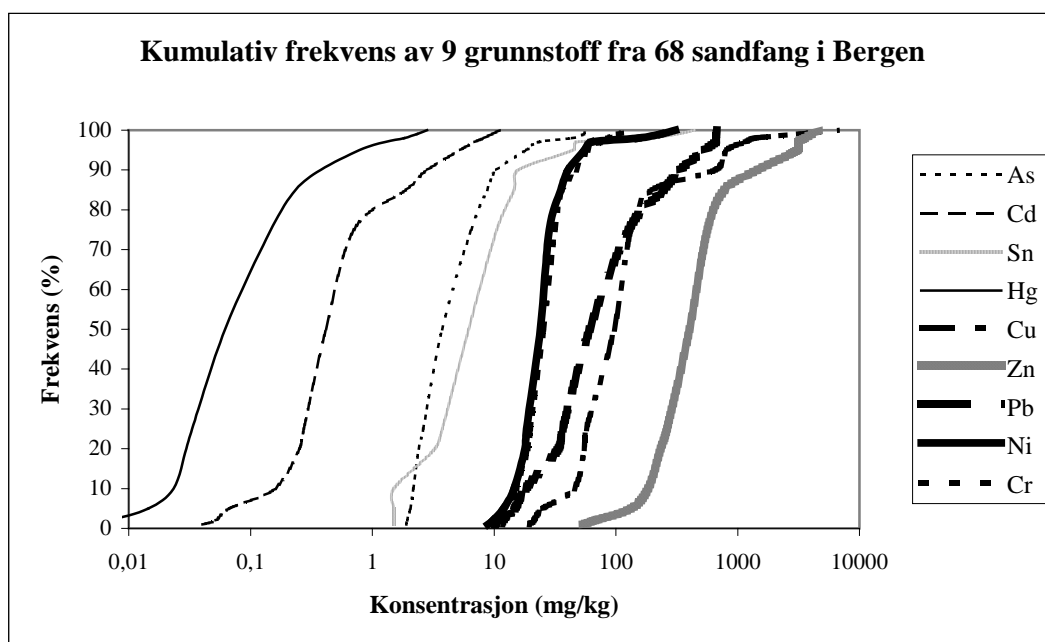
Sandfangsprøve nr. 53 er tatt ved Bergenhus festning utenfor Hotell Orion, og vil drenere mot ytre deler av Vågen, hvor de marine sedimentprøvene også er tatt. Sammensetningen i prøvene varierer noe, men i hovedsak er profilene dominert av Clophen A60.

Generelt er det slik at den typen PCB som er påvist i sandfang samsvarer mer eller mindre med typer funnet i nærliggende marine sedimenter.

## 4.5 Tungmetaller

Innholdet av totalt 34 ulike grunnstoffer ble bestemt i 64 sandfang i tillegg til 4 oppfølgingsprøver, som omfatter duplikatprøve fra ett av sandfangene (prøve 65, som tilsvarer prøve 17), en ekstra prøve fra samme område som prøve 17 (prøve 66) og 2 prøver fra sandfangsbasseng i Rådalen deponi, ett for Statens vegvesen (prøve 67) og ett for kommunen (prøve 68). I resultatdelen er det valgt å fokusere på 9 grunnstoffer som er kjent for å kunne ha negative miljøkonsekvenser. Disse 9 grunnstoffene er: arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni), bly (Pb), tinn (Sn) og sink (Zn). I tillegg er det tatt med innholdet av total organisk karbon (TOC i %). Rådata for konsentrasjonen av samtlige grunnstoffer samt koordinater til punktene er presentert i vedlegg 1.

Kartbilder for disse 9 grunnstoffene viser konsentrasjonen i mg/kg (ppm) i sandfangsmasser fra 64 sandfang nær havnebassenget i Bergen. De 4 ekstraprøvene er ikke med i kartgrunnet.



Figur 29. Kumulativ frekvensfordeling av innholdet av 9 viktige uorganiske miljøgifter i 68 sandfangsprøver fra området rundt Bergen havn.

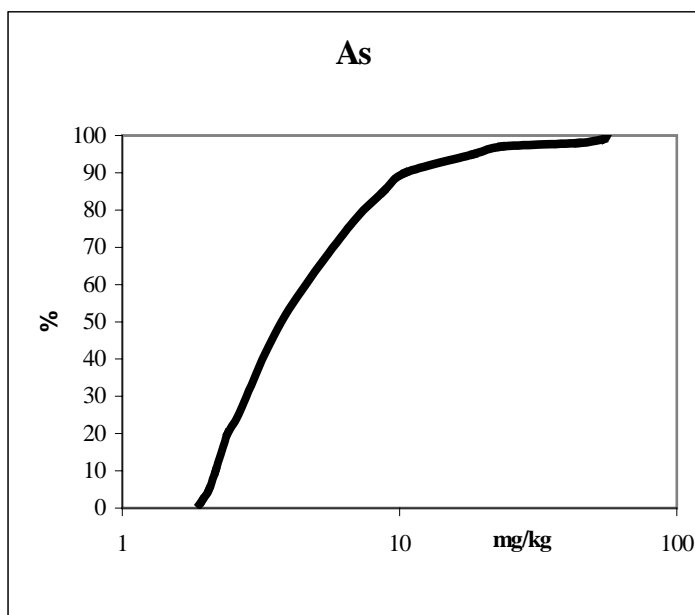
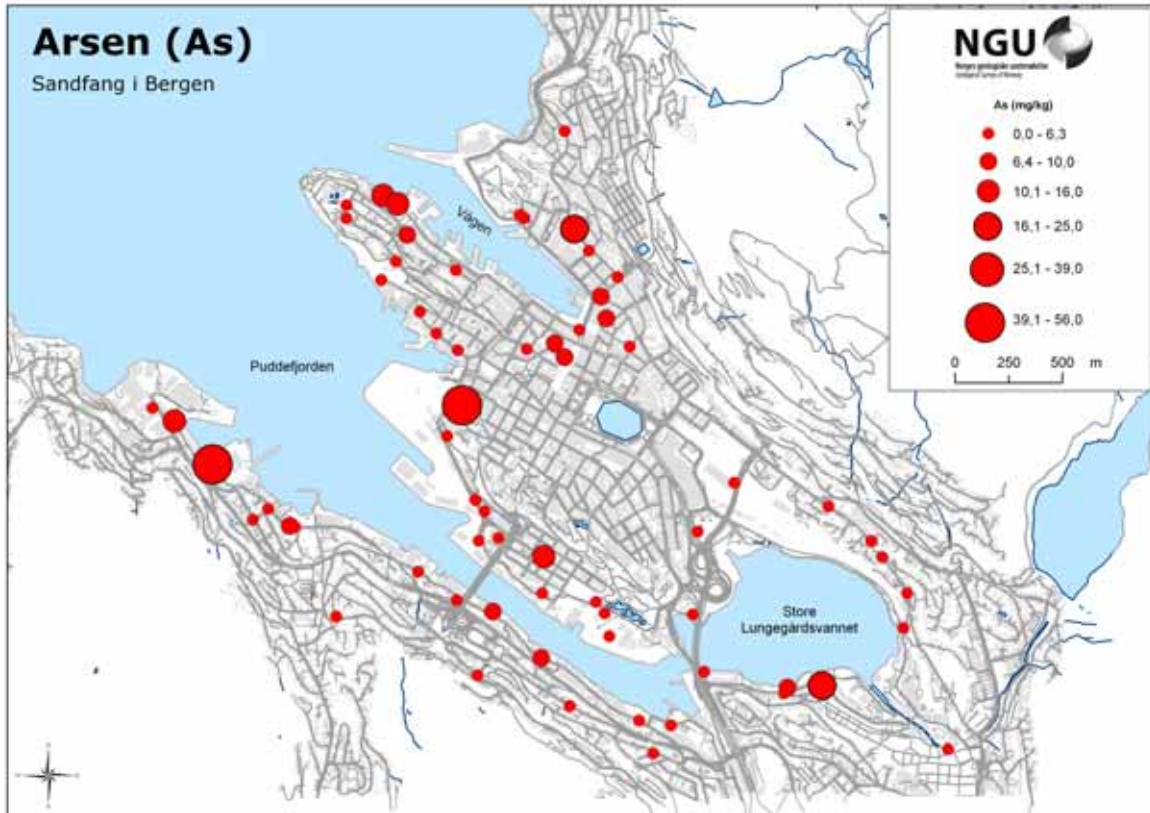
**Tabell 9. Konsentrasjoner av utvalgte grunnstoffer og innhold av total organisk karbon (TOC) i 68 sandfang.**

<b>Id</b>	<b>As</b> mg/kg	<b>Cd</b> mg/kg	<b>Cr</b> mg/kg	<b>Cu</b> mg/kg	<b>Hg</b> mg/kg	<b>Ni</b> mg/kg	<b>Pb</b> mg/kg	<b>Sn</b> mg/kg	<b>Zn</b> mg/kg	<b>TOC</b> %
1	19,9	5,74	56,2	1480	0,80	31,1	385	47,5	3800	10
2	7,2	4,41	60,3	731	0,15	63,2	302	47,7	927	7,50
3	3,8	0,53	31,2	100	0,08	25,2	64,9	7,3	461	5,30
4	0,5	0,02	11,0	15,9	0,38	10,2	9,0	1,5	51,3	0,37
5	2,7	0,27	29,0	88,4	0,06	32,1	62,1	4,7	443	7,39
6	2,1	0,28	25,5	62,8	0,06	36,5	40,1	3,3	270	4,57
7	4,5	0,34	23,7	59,6	0,04	20,4	59,7	1,5	196	4,99
8	2,0	0,46	17,5	21,1	0,58	9,6	45,9	1,5	512	0,94
9	2,6	0,35	23,2	77,4	0,01	23,2	30,5	6,0	604	7,02
10	3,0	0,13	16,4	65,3	0,01	21,0	23,1	5,3	233	2,80
11	4,4	0,27	27,7	294	0,03	55,3	43,8	15,4	530	4,60
12	4,1	0,31	39,0	275	0,09	27,8	117	13,0	390	2,83
13	1,9	0,06	12,7	76,8	0,03	22,5	18,4	1,5	148	3,55
14	6,1	0,35	26,5	855	0,03	27,5	47,3	39,6	784	1,94
15	3,3	0,25	33,6	95,4	0,05	28,1	28,6	7,0	590	5,77
16	2,6	0,32	23,5	96,5	0,03	22,9	54,9	10,1	451	2,66
17	3,1	0,37	31,5	129	0,06	26,2	49,3	12,8	578	7,03
18	4,3	0,36	21,9	105	0,08	23,9	70,0	9,6	373	4,89
19	5,6	0,51	20,8	95,1	0,08	24,9	65,6	9,3	644	4,47
20	9,2	0,29	25,4	124	0,05	18,1	42,2	8,2	346	2,53
21	4,7	0,42	34,7	143	0,08	32,7	39,0	10,3	381	7,34
22	53,8	2,42	135	1160	0,22	309	596	260,0	3140	2,14
23	15,3	11,10	90,6	6600	0,06	198	661	444,0	3150	3,53
24	2,3	0,16	18,9	55,2	0,02	20,3	17,4	5,1	181	2,98
25	2,2	0,07	14,3	46,0	0,03	24,6	16,3	5,2	228	4,25
26	2,6	0,22	19,8	165	0,03	18,2	35,6	13,4	261	1,90
27	4,4	0,80	36,1	140	0,21	55,5	66,2	14,9	497	8,28
28	8,7	0,52	32,7	200	0,06	26,0	210	16,9	533	4,43
29	6,6	1,19	37,7	131	0,38	30,6	164	7,7	1050	3,62
30	4,1	0,32	29,8	90,4	0,04	26,0	45,7	25,2	496	1,17
31	3,9	2,73	30,6	98,8	0,01	41,6	14,7	14,7	265	2,03
32	4,0	0,34	15,6	52,8	0,03	19,3	55,5	3,2	380	3,63
33	2,4	0,05	76,5	54,5	0,01	53,6	10,6	4,0	143	3,18
34	3,4	0,45	17,4	631	0,08	19,5	37,0	10,6	372	39,0
35	3,6	0,37	22,0	56,7	0,24	22,9	127	1,5	478	7,09
36	2,1	0,38	26,7	100	0,04	40,0	35,7	6,1	327	6,40
37	56,0	6,96	29,6	63,8	2,10	15,5	675	5,4	4670	8,35
38	5,1	0,42	27,5	107	0,17	24,1	58,7	7,6	340	5,58
39	2,4	0,40	19,9	56,7	0,11	16,0	63,0	1,5	243	9,26
40	2,3	0,27	20,6	57,4	0,05	14,8	48,8	1,5	196	3,79
41	3,3	0,19	15,3	39,5	0,27	35,7	67,0	1,5	185	6,76
42	2,1	1,47	22,9	122	0,03	22,6	35,2	9,8	219	0,98
43	3,1	0,42	15,8	46,2	0,06	12,0	99,6	1,5	366	2,32
44	2,3	3,08	20,7	49,5	0,03	26,1	84,8	3,8	336	3,88
45	2,9	0,16	19,9	54,8	0,02	18,5	32,9	4,7	233	3,04
46	2,4	0,23	21,5	50,9	0,03	17,3	18,5	4,6	191	2,91
47	10,2	1,41	21,8	68,5	0,20	24,3	221	4,7	316	4,32
48	10,9	0,47	14,3	25,1	0,06	7,4	165	3,5	674	1,05



...forts. tabell 9

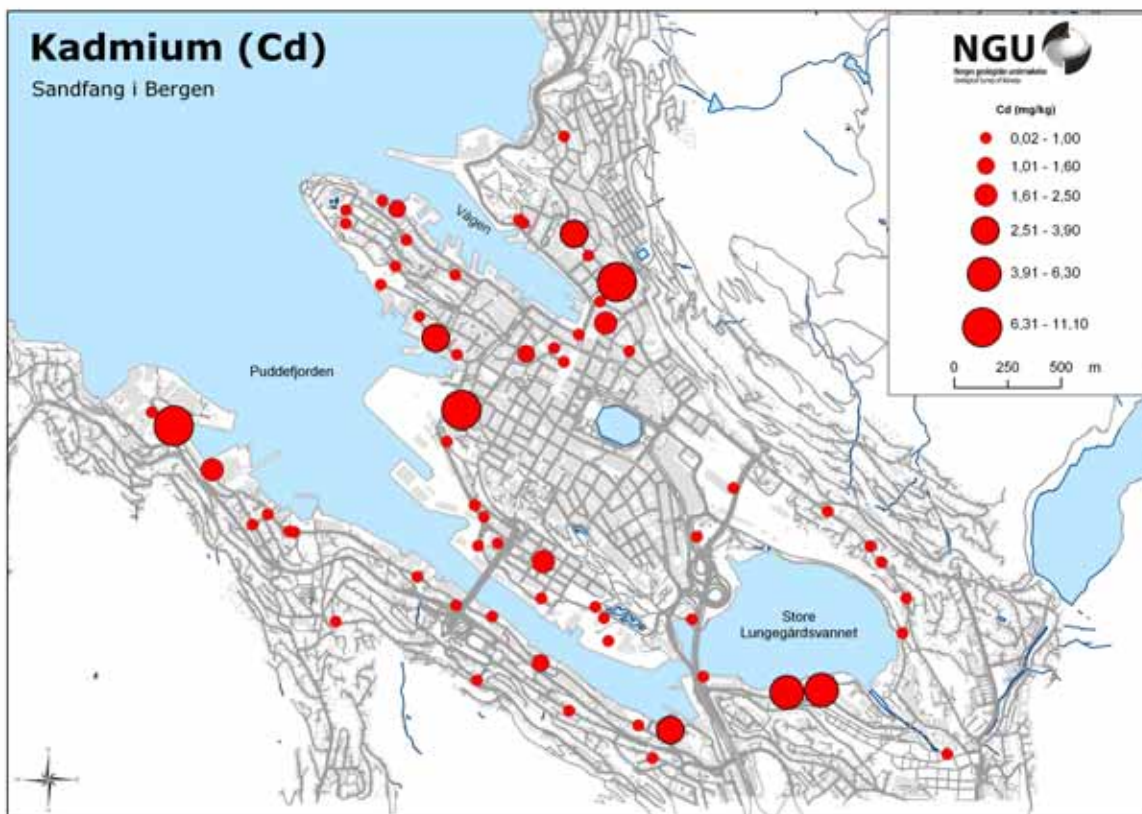
<b>Id</b>	<b>As</b> mg/kg	<b>Cd</b> mg/kg	<b>Cr</b> mg/kg	<b>Cu</b> mg/kg	<b>Hg</b> mg/kg	<b>Ni</b> mg/kg	<b>Pb</b> mg/kg	<b>Sn</b> mg/kg	<b>Zn</b> mg/kg	<b>TOC</b> %
49	7,2	0,49	28,5	139	0,13	35,4	84,1	10,2	400	8,43
50	6,4	0,42	21,4	163	0,10	14,0	61,7	6,3	273	1,81
51	6,9	0,60	47,1	722	0,76	29,1	426	5,9	794	4,23
52	2,9	0,31	27,3	187	0,26	25,4	113	5,7	268	6,30
53	4,3	0,45	34,8	748	0,15	30,1	64,2	10,7	457	10,7
54	1,9	0,07	12,1	21,7	0,03	17,9	14,8	1,5	54,5	0,54
55	3,2	0,83	25,6	113	0,07	24,5	94,1	6,8	562	3,89
56	22,7	3,17	47,9	103	0,05	20,7	668	6,0	2900	8,07
57	3,4	0,68	23,3	96,6	0,13	19,4	180	3,3	643	6,10
58	3,3	8,94	19,0	122	0,08	27,6	46,4	15,2	403	4,17
59	8,4	0,49	21,8	77,8	0,07	13,5	267	3,6	541	2,23
60	8,6	1,90	31,1	97,3	0,20	18,5	416	5,2	3000	7,33
61	3,3	0,46	50,2	106	0,06	16,6	316	8,1	443	4,38
62	10,1	2,10	35,0	67,3	1,28	21,0	247	7,7	2410	3,06
63	2,5	0,19	15,3	44,1	0,01	16,5	20,5	1,5	127	1,45
64	2,1	0,16	15,0	25,5	0,03	11,9	11,6	1,5	92,5	0,74
65	2,2	0,28	27,4	99,9	0,03	23,7	42,7	10,5	403	5,49
66	3,9	0,57	26,5	99,0	0,08	24,4	64,4	5,4	498	9,51
67	4,8	0,46	32,4	123	0,05	27,8	46,2	10,2	512	9,34
68	13,2	1,67	25,1	78,4	2,81	22,9	129	10,6	503	8,31



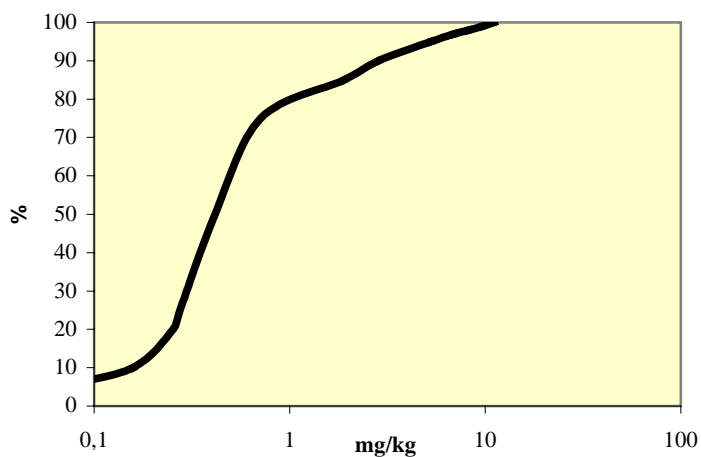
**Statistikk:**

Arsen (As), (mg/kg)	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>6,5</b>
Median	<b>3,7</b>
Spredning	<b>&lt;1 - 56</b>

**Figur 30.** Oversiktskart over innholdet av As (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 90 % av prøvene har en konsentrasjon under 10 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i Teatergaten og kaiområdet ved Laksevåg.



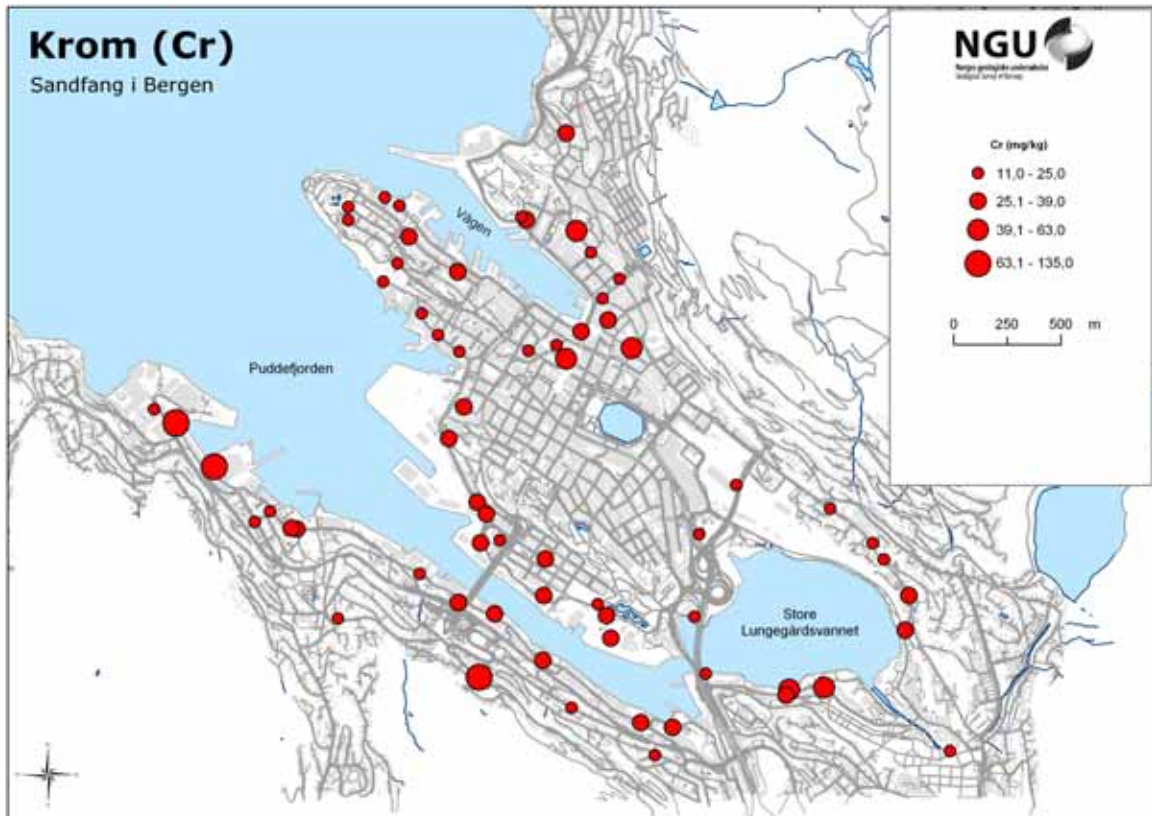
Cd



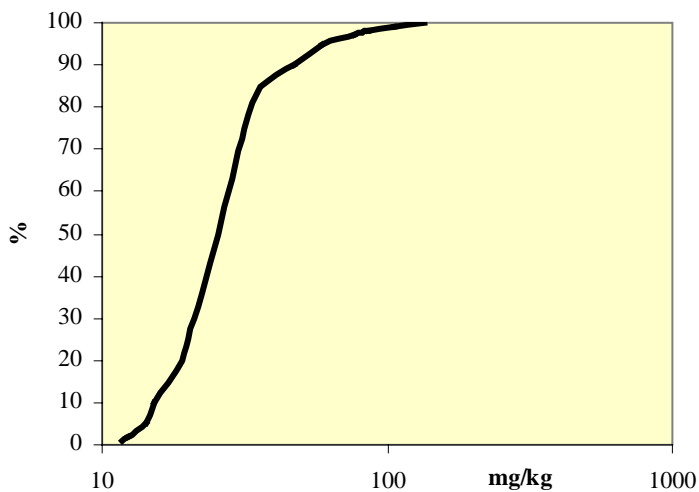
### Statistikk:

Kadmium (Cd), (mg/kg)	
Antall prøver (N)	68
Aritm.gjennomsn.	1,1
Median	0,4
Spredning	<0,02 - 11

Figur 31. Oversiktskart over innholdet av Cd (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 80 % av prøvene har en konsentrasjon under 1 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i Teatergaten, kaiområdet ved Laksevåg, ovenfor Bryggen og i Grønneviksøren.



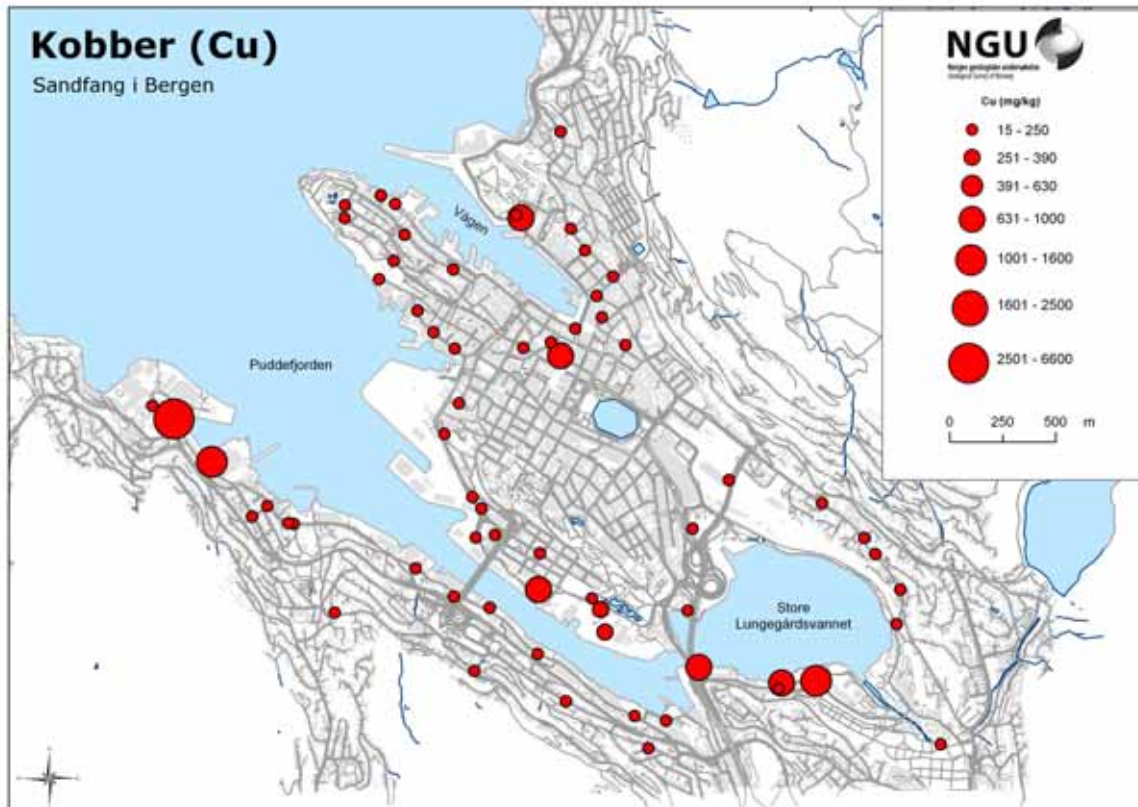
Cr



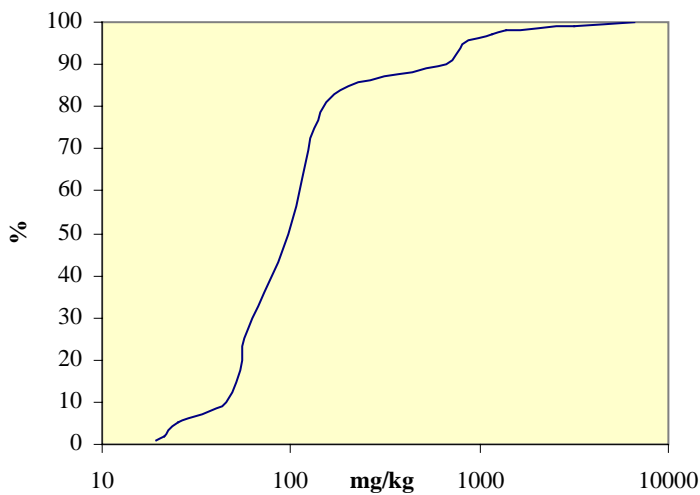
**Statistikk:**

<b>Krom (Cr), (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>30</b>
Median	<b>26</b>
Spredning	<b>11 - 135</b>

**Figur 32.** Oversiktskart over innholdet av Cr (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 85 % av prøvene har en konsentrasjon under 50 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i kaiområde ved Laksevåg.



Cu

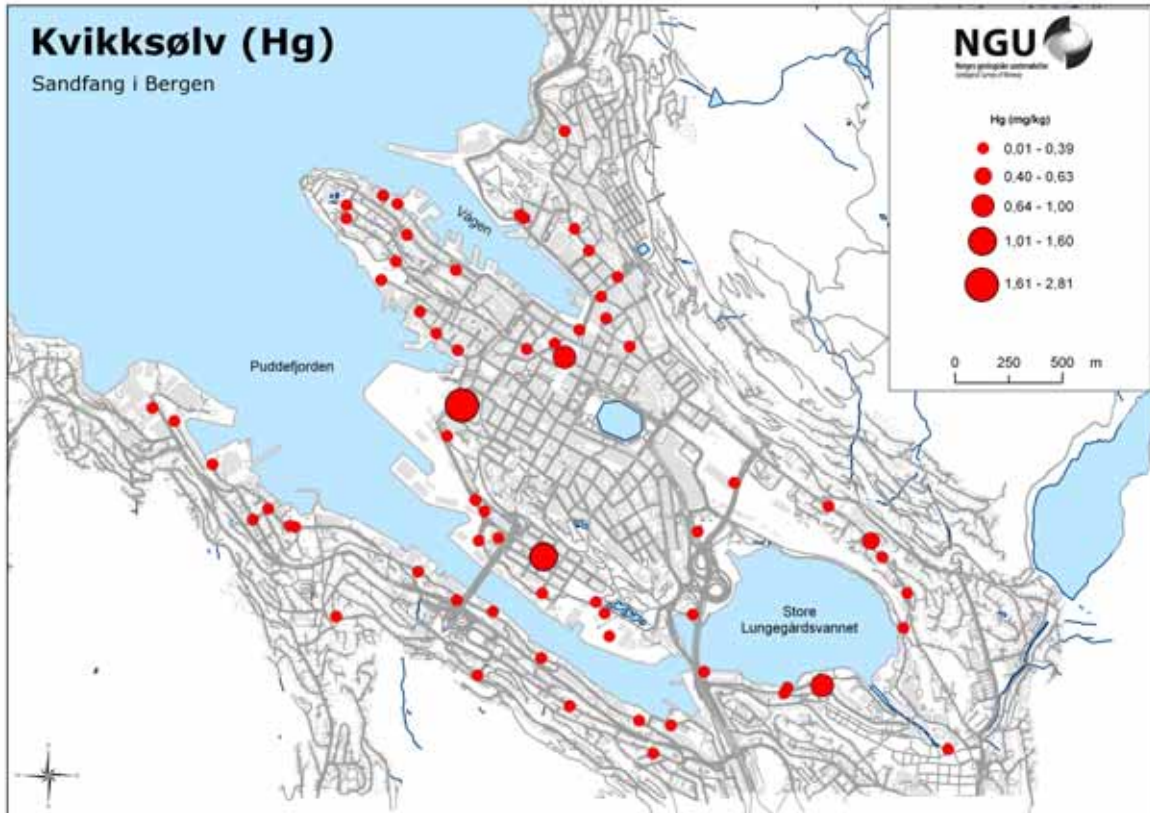


**Statistikk:**

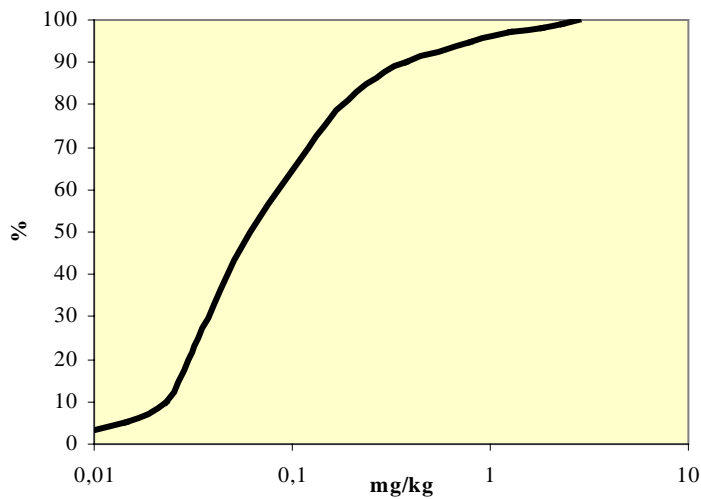
<b>Kobber (Cu) , (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>273</b>
Median	<b>97</b>
Spredning	<b>16 - 6600</b>

Figur 33. Oversiktskart over innholdet av Cu (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 50 % av prøvene har en konsentrasjon under 100 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i kaiområdet ved Laksevåg.





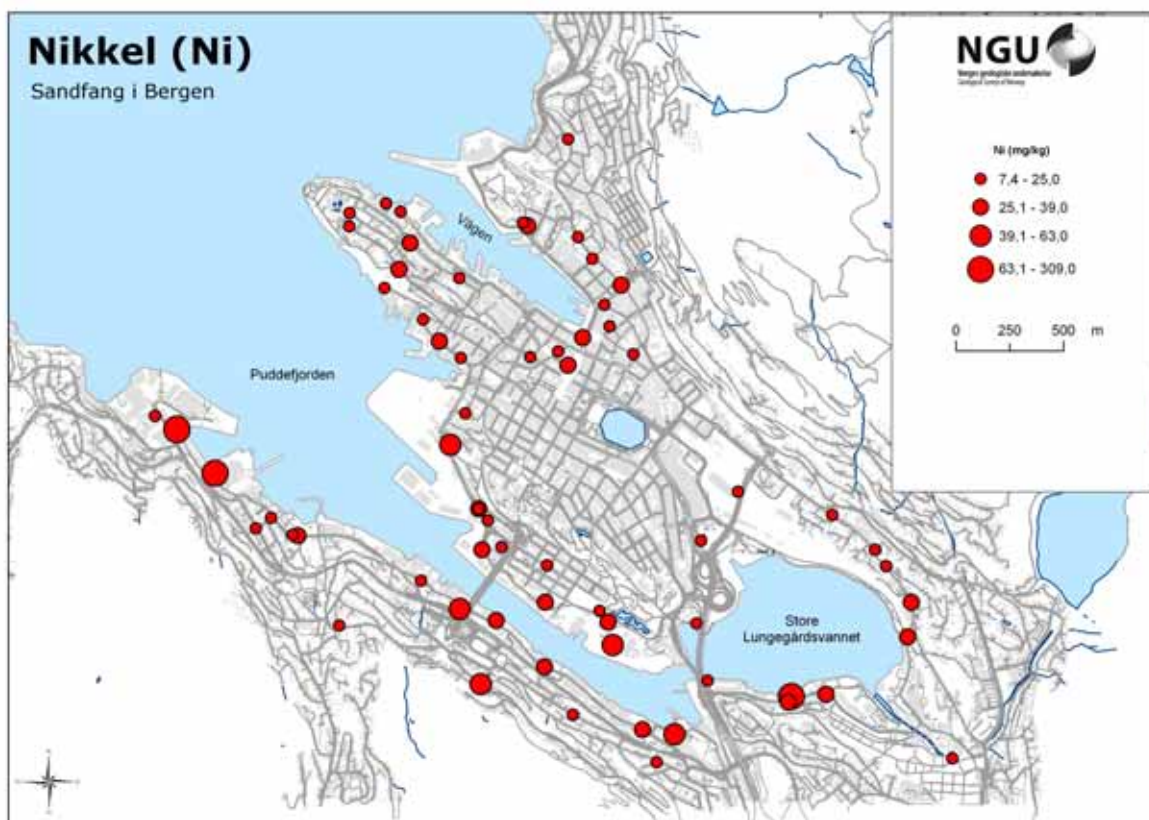
Hg



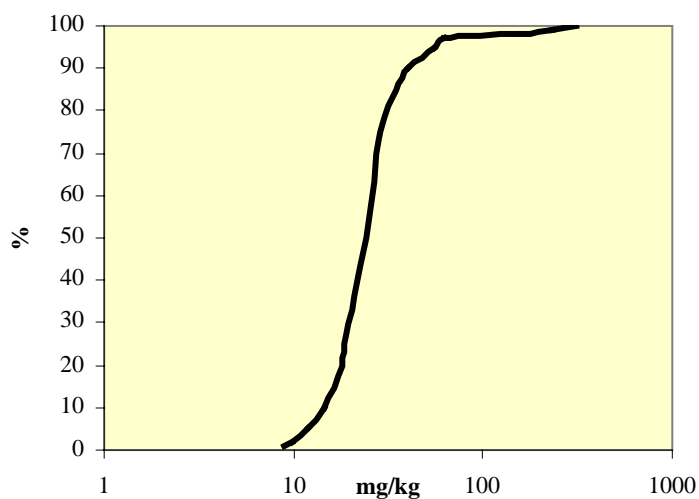
**Statistikk:**

<b>Kvikksølv (Hg) , (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>0,2</b>
Median	<b>0,1</b>
Spredning	<b>&lt;0,01 – 2,8</b>

**Figur 34.** Oversiktskart over innholdet av Hg (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 95 % av prøvene har en konsentrasjon under 1 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i Teatergaten.



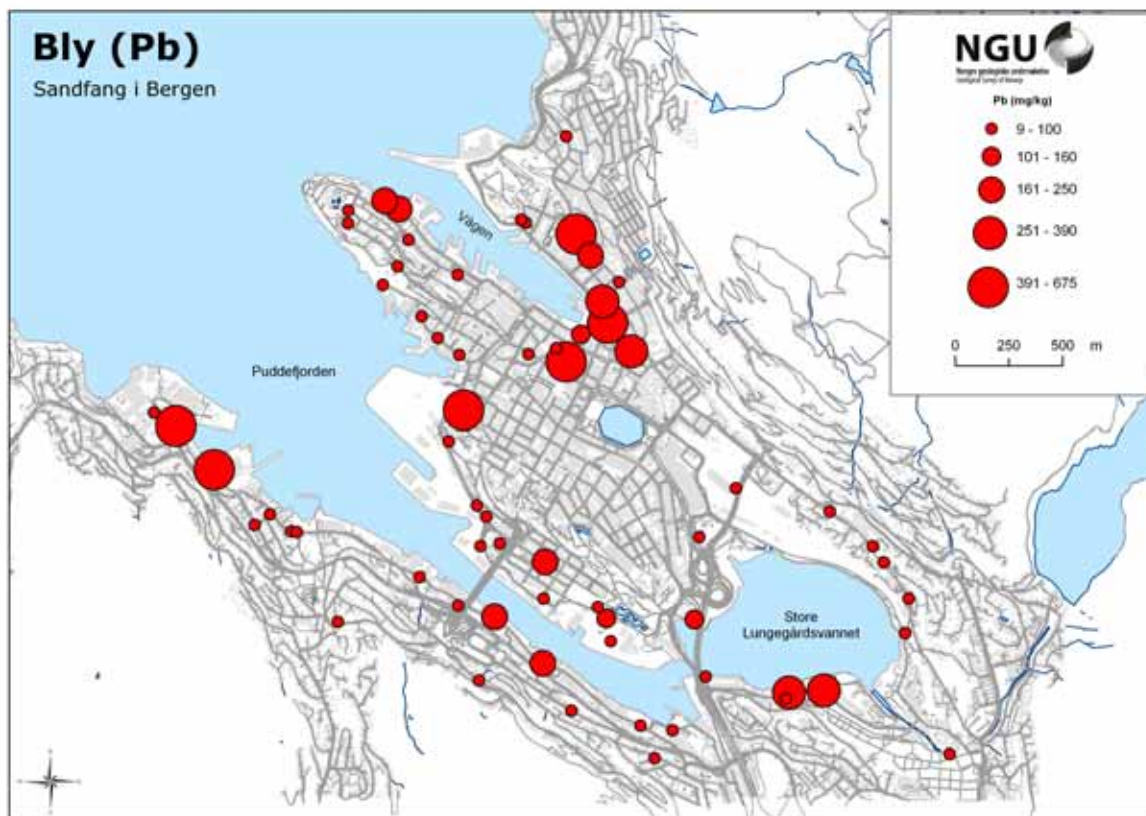
Ni



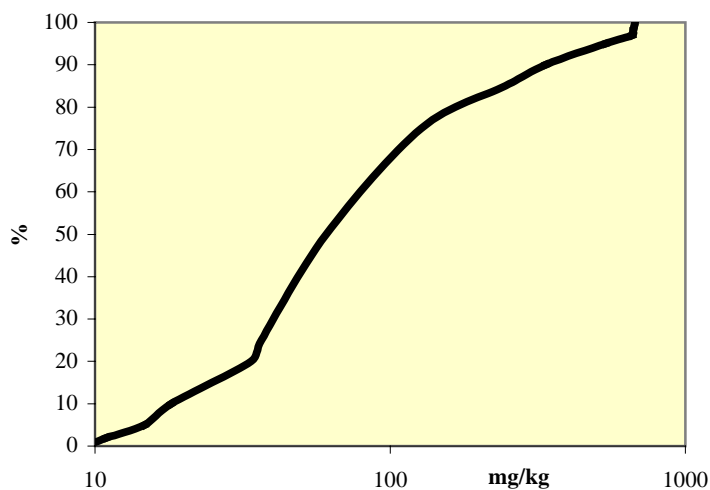
**Statistikk:**

Nikkel (Ni) , (mg/kg)	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>32</b>
Median	<b>24</b>
Spredning	<b>7 - 309</b>

**Figur 35.** Oversiktskart over innholdet av Ni (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 95 % av prøvene har en konsentrasjon under 50 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i kaiområde ved Laksevåg og Grønneviksøren.



Pb

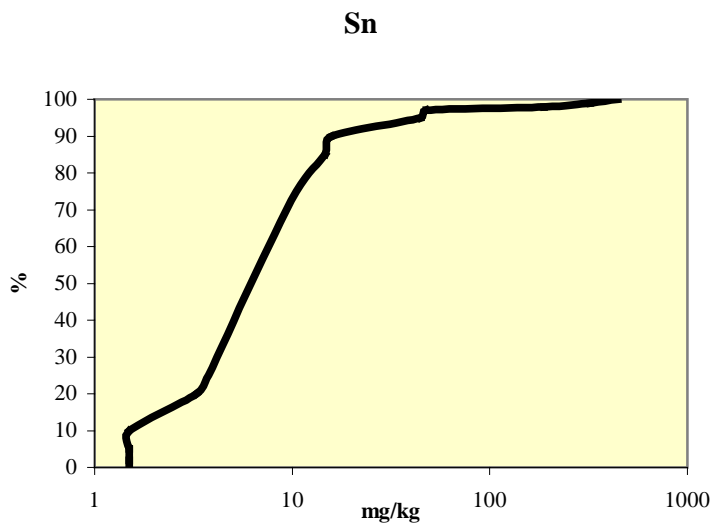
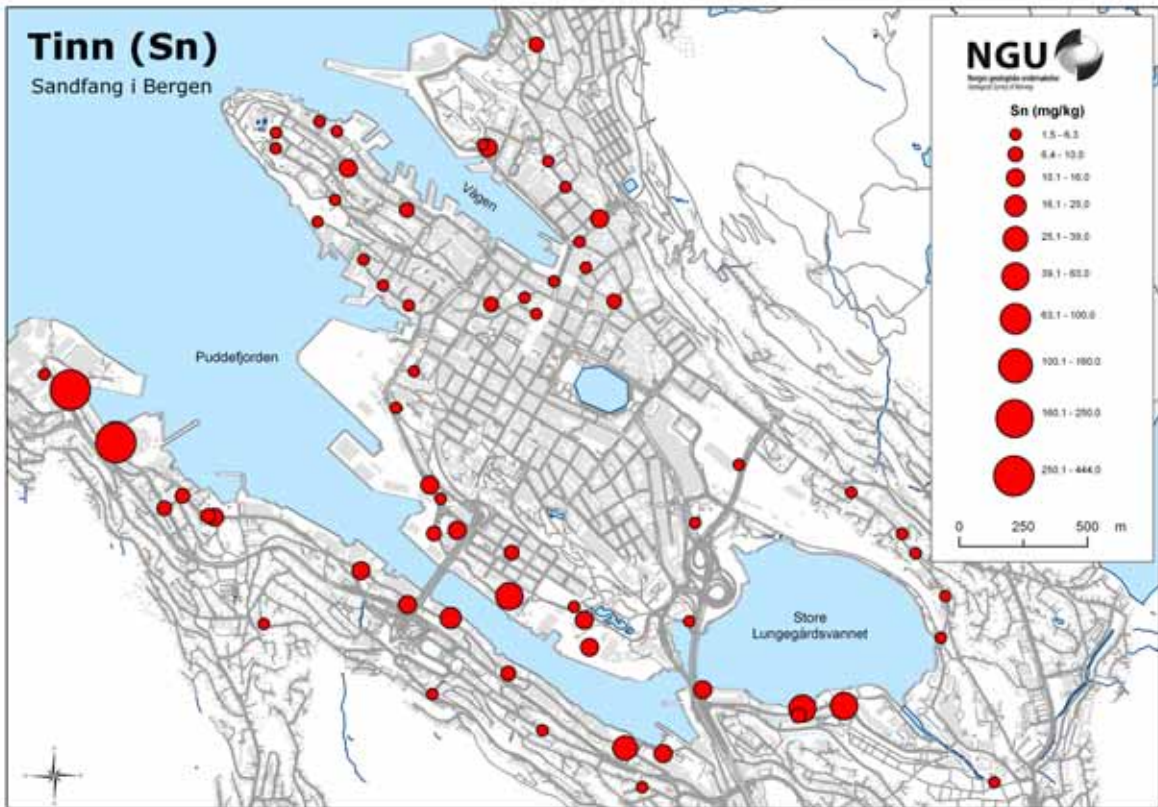


**Statistikk:**

<b>Bly (Pb) , (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>126</b>
Median	<b>61</b>
Spredning	<b>9 - 675</b>

**Figur 36.** Oversiktskart over innholdet av Pb (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser en flatere kurve enn mange av de andre grunnstoffene, og at 80 % av prøvene har en konsentrasjon under 150 mg/kg. Høye konsentrasjoner av bly finnes i indre sentrum (Torgallmenningen og Bryggen), kaiområde ved Laksevåg, i Teatergaten og Grønneviksøren.

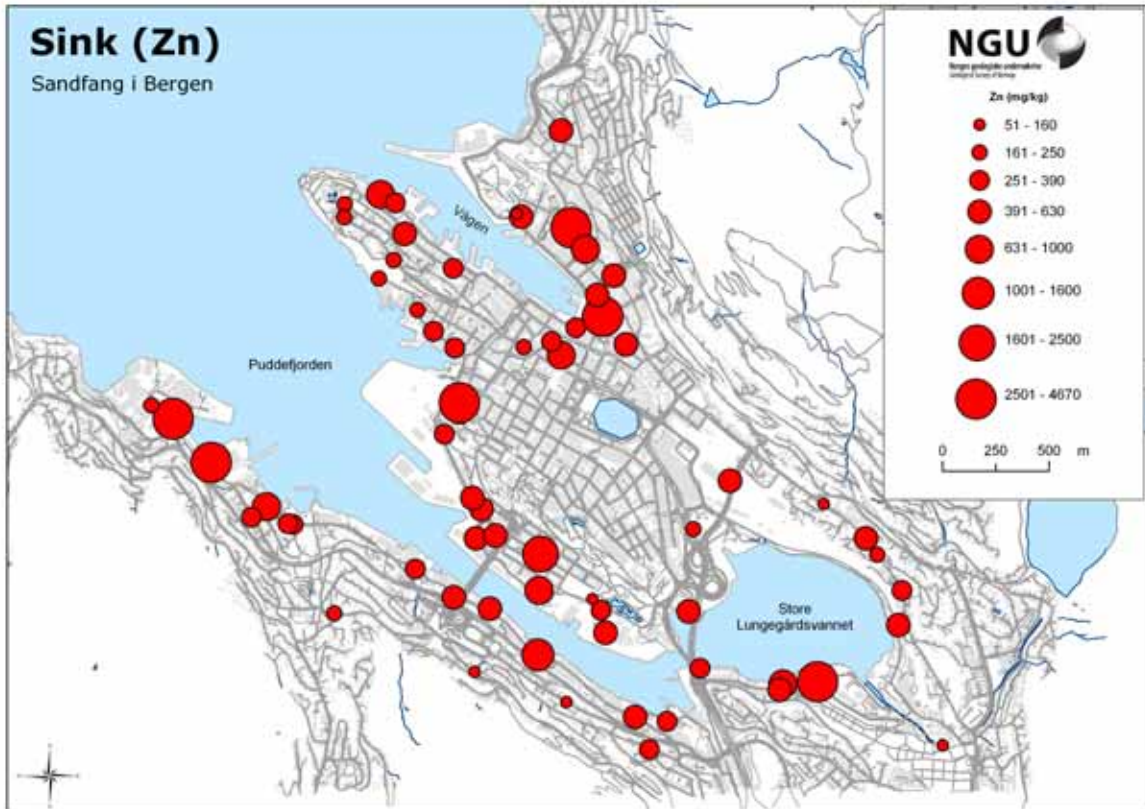




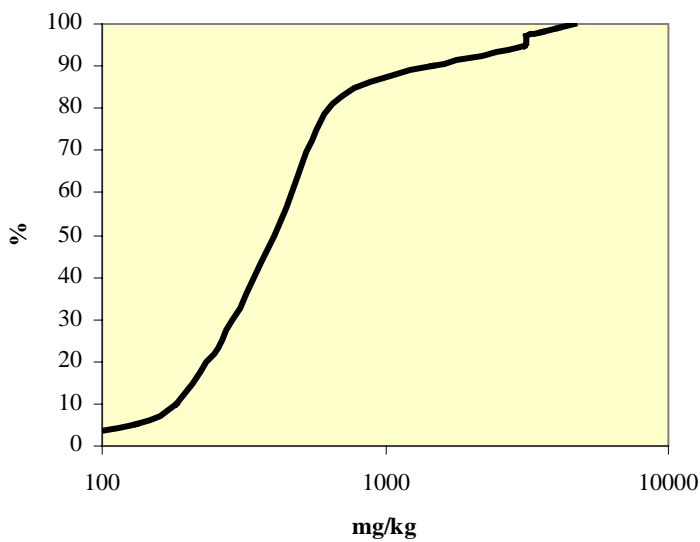
**Statistikk:**

<b>Tinn (Sn) , (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>18,8</b>
Median	<b>6,2</b>
Spredning	<b>&lt;3 - 444</b>

**Figur 37.** Oversiktskart over innholdet av Sn (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 97 % av prøvene har en konsentrasjon under 50 mg/kg. Høyeste konsentrasjoner i kaiområde ved Laksevåg.



Zn



**Statistikk:**

<b>Sink (Zn) , (mg/kg)</b>	
Antall prøver (N)	<b>68</b>
Aritm.gjennomsn.	<b>698</b>
Median	<b>403</b>
Spredning	<b>51 - 4670</b>

**Figur 38.** Oversiktskart over innholdet av Zn (mg/kg) i 64 sandfangsprøver i området rundt Bergen havn. Kumulativ frekvensfordeling for innholdet i 68 sandfangsprøver viser at 50 % av prøvene har en konsentrasjon under 400 mg/kg. Høye konsentrasjoner av Zn finnes i hele det undersøkte området, men områdene sentrum, kaiområdet ved Laksevåg og Grønneviksøren har høyere konsentrasjoner enn gjennomsnittet.

## **Kommentarer – tungmetaller**

Innholdet av grunnstoffene arsen (As), krom (Cr), kvikksølv (Hg) og nikkel (Ni) i sandfangsprøvene fra området rundt Bergen havn er omtrent på samme nivå som i byjord fra Bergen (Ottesen og Volden, 1999). Kilden til disse stoffene i sandfangsmaterialene er sannsynligvis byjord og noe bidrag fra maling.

Enkelte metaller, som for eksempel tinn (Sn) har markerte kilder som fanges opp av sandfangsmaterialet. De høye konsentrasjonene som er vist i kartbildet for tinn kommer mest sannsynlig fra skipsreperasjonsverksteder og/eller pussesteder for større eller mindre båter som har benyttet tinnholdige bunnstoff/malinger. Noe tinn er også påvist ved avfallsmottaket i Grønneviksøren. Innholdet av kobber (Cu) i sandfangsprøvene viser stort sett det samme mønsteret, siden kobber ofte brukes i skipsindustrien som tilsats i bunnstoff, maling og impregneringsmidler.

Et annet mønster representeres ved stoffene bly (Pb) og sink (Zn), som viser at det foregår en aktiv spredning av disse stoffene gjennom bymiljøet mot havnebassenget. Bly finner vi først og fremst igjen i de eldste og mest sentrale delene av byen, i tillegg til kaiområdet på Laksevåg og i Grønneviksøren. Bly og sink i de mest sentrale delene av byen kan knyttes til forekomst av gammel hvitmaling (blyhvitt og sinkhvitt) på husfasader. Innholdet av sink i sandfangsprøvene er generelt meget høyt over hele det prøvetatte området, og indikerer svært aktive kilder og stort spredningspotensiale. I tillegg til maling vil vegtrafikk og dekkslitasje være viktige kilder for sink.

## 5. OPPFØLGENDE UNDERSØKELSE AV PUDDEFJORDSBRUA

Under prøvetaking av de 64 opprinnelige sandfangene rundt havnebassenget i Bergen ble det tatt én prøve av betong/murpuss fra et fundament av den gamle delen av Puddefjordsbrua på Møhlenpris. Bakgrunnen for dette var bl.a. funn av høye konsentrasjoner av PCB ute i Puddefjorden av NIVA/NGI/Interconsult, presentert i "Tiltaksplan for Bergen havn, fase II – foreløpig rapport" fra 2004. Kan Puddefjordsbrua være en kilde?

Betong/murbiten ble homogenisert og sendt til analyse for bestemmelse av PCB<sub>7</sub>. Det ble påvist en PCB<sub>7</sub>-konsentrasjon på 53300 µg/kg. Dette funnet førte til en oppfølgende undersøkelse av Puddefjordsbrua som en spesifikk forurensningskilde for PCB.

I november 2004 ble det foretatt kjerneboring på flere av de eldste fundamentene til Puddefjordsbrua på begge sider av Puddefjorden. Det ble tatt ut kjerner av betongen på ca. 8 cm i lengde og 6 cm i diameter, slik bildene viser. Hullene fra kjerneboringen ble fylt igjen med Rescon Redirep, en tørrmørtel til reparasjon av betong.



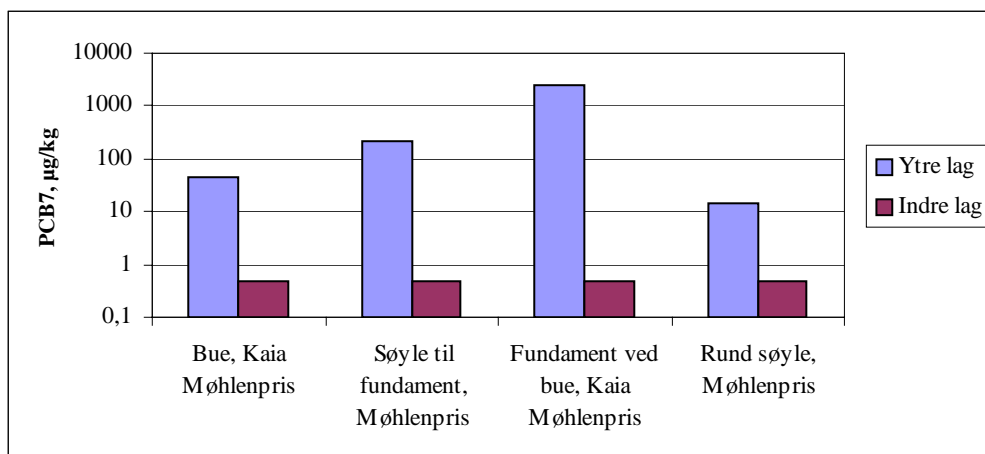
**Figur 39.** Ved hjelp av kjerneboring ble det tatt ut prøver av betong/murpuss på ca. 8 cm med diameter på 6 cm fra de eldste delene av Puddefjordsbrua.

Det ble i tillegg til Puddefjordsbrua tatt ut prøver fra 4 andre bygninger rundt Puddefjorden. Disse var: Tunnelinngang ved Dokken, et industribygg ved Dokken, en eldre fabrikkbygning i Solheimsviken og en gammel bunkers ved Marineholmen. Det ble ikke påvist høye konsentrasjoner av PCB i disse 4 prøvene.

Resultatene fra denne oppfølgende undersøkelsen er vist i tabell 10. Konsentrasjonene er angitt i µg/kg. Det er i enkelte prøver skilt mellom det ytterste laget (ofte murpuss) og betongen som er noen cm inn i kjerneprøven. En sammenligning av konsentrasjonene i ytre og indre lag er vist i figur 40. Det ble også tatt ut 2 prøver av støvet som dannes under boring av festehull for kjerneboret, i tillegg til en jordprøve i området under Puddefjordsbrua på Møhlenpris.

**Tabell 10. Tabellen viser konsentrasjonen av PCB<sub>7</sub> i prøver av betong/murpuss og jord fra Puddefjordsbrua og 4 andre bygninger rundt Puddefjorden.**

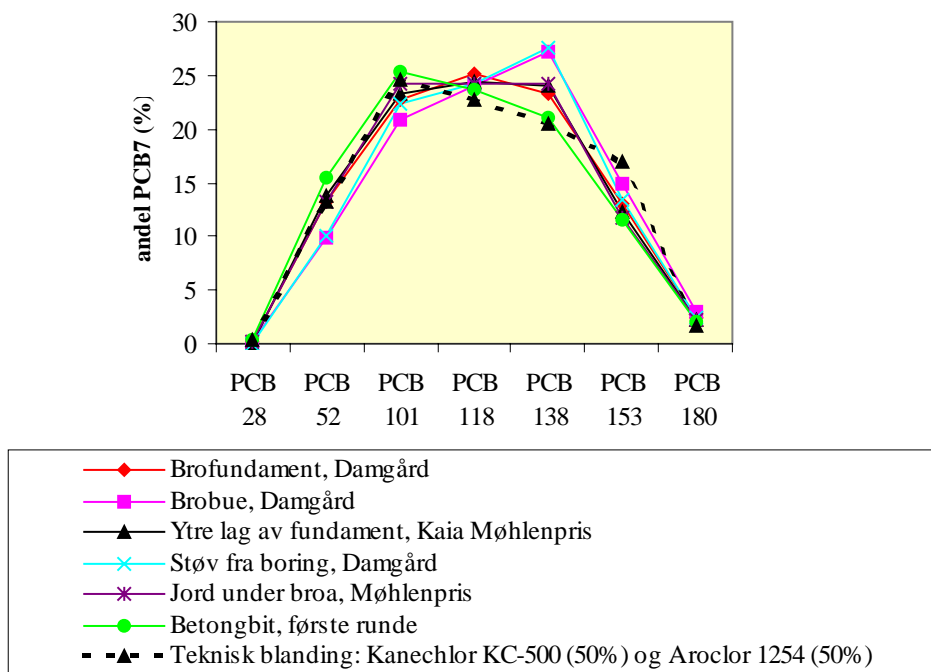
	Tørrstoff	PCB <sub>7</sub> Totalsum	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180
	%	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Bit av broseyle på Møhlenpris, første gang	100	53300	155	8230	13500	12600	11200	6150	1110
Jord under brua ved Møhlenpris	80	34100	94	4500	8250	8250	8250	4000	775
Brofundament, Damgård	100	452	0,5	60	103	114	105	59	11
Brobue, Damgård	100	363	0,5	36	76	87	99	54	11
Brobue, Damgård	100	7	0,5	0,5	2	2	2	1	0,5
Brosøyle, Damgård	100	6	0,5	3	2	1	0,5	0,5	0,5
Støv fra boring i brobue, Møhlenpris	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ytre lag, brobue, Kaia Møhlenpris	100	44	0,5	7	11	10	10	6	0,5
Indre, brobue, Kaia Møhlenpris	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fundament, Møhlenpris	100	8	0,5	1	2	2	2	1	0,5
Ytre lag. Søyle til fundament, Møhlenpris	100	210	0,5	30	49	51	50	26	4
Indre lag. Søyle til fundament, Møhlenpris	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ytre lag. Fundament ved bue. Kaia Møhlenpris	100	2460	0,5	338	575	599	592	301	55
Indre lag. Fundament ved bue. Kaia Møhlenpris	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ytre lag. Rund søyle, Møhlenpris	100	15	0,5	2	4	3	4	2	0,5
Indre lag. Rund søyle, Møhlenpris	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Støv fra boring i bue, Damgård	100	3880	0,5	390	864	940	1070	522	97
Tunnelinngang ved Dokken	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Industribygg ved Dokken	100	24	0,5	1	5	2	8	7	3
Bygg i Solheimsviken	100	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Bygning. Bunkers ved Møhlenpris	100	5	0,5	0,5	0,5	0,5	3	2	0,5



**Figur 40.** Sammenligning av PCB<sub>7</sub>-konsentrasjonen i det ytre og indre lag av betongen for 4 prøver av Puddefjordsbrua. Konsentrasjonen er angitt i µg/kg, og y-aksen er tegnet med logaritmisk skala. Figuren viser at det ytre laget kan inneholde PCB, mens det indre laget er rent.

Det er tegnet PCB-profiler av prøvene fra Puddefjordsbrua og jorda rundt brua, og de viser alle det samme mønsteret, slik figur 41 viser. Sammenligning med teknisk PCB-blanding er gjort ved hjelp av digital gjenkjenningsteknikk basert på informasjon om tekniske PCB-blandinger (Konieczny og Mouland, 1997).

#### PCB-profiler for prøver av og rundt Puddefjordsbroen



**Figur 41.** PCB-profiler fra prøver av murpuss/betong og jord i og rundt Puddefjordsbrua. Prøvene viser det samme mønsteret. Ved sammenligning med tekniske PCB-blandinger er det foreslått en blanding av PCB-typen Kanechlor KC-500 og Aroclor 1254.

## 5.1 Puddefjordsbrua – en kilde til PCB?

De oppfølgende undersøkelsene av Puddefjordsbrua som spesifikk kilde til PCB-forurensning av Puddefjorden og landområdene rundt viser at det på ett eller annet tidspunkt i bruas 50-år lange historie er påført et ytre lag med enten maling, murpuss eller bindemiddel som har inneholdt PCB. Det ble ikke påvist PCB i indre deler av betongen, men det ble funnet høye konsentrasjoner i enkelte prøver av de ytre lagene og i jorda under brua.

Einar Noremark, byggeleder for bruvedlikehold i Vegvesenet, har hjulpet oss med historikken for Puddefjordsbrua. Den sto ferdig i 1956, og i selve betongen ble det brukt en poretilsetning av typen Darex AEA i  $0,2 \text{ L/m}^3$ . Brua ble i mange år etter den ble bygget påført en hvit murmaling av ukjent merke, og da vegvesenet overtok vedlikeholdet midt på 1980-tallet ble denne hvitmalingen fjernet og et nytt belegg (Miracote) ble påført i en tykkelse på 1-3 mm.

Undersøkelsene rundt Puddefjordsbrua tyder på at det har vært hvitmalingen som ble påført i årene etter byggingen i 1956 som har forårsaket de høye konsentrasjonene av PCB i jorda og i sedimentene. Malingen ble sandblåst og spylt av mer eller mindre uten skjerming, slik at mye av restmaterialene ble liggende igjen på bakken eller ble blåst ut i Puddefjorden. Dette har trolig vært med på å forurense byjorda og de marine sedimentene i området. Bygningene som stod nærmest fundamentene på Møhlenprissiden ble beskyttet med presenning under deler av arbeidet. Rester av PCB-holdig materiale kan i enkelte tilfeller finnes igjen i de ytterste lagene av brua, slik resultatene i tabell 10 viser.

PCB-profilene fra prøvene i og rundt Puddefjordsbrua viser et noenlunde entydig mønster. Man skal være litt forsiktig med å konkludere for mye ut fra slike profilbeskrivelser, da graden av kjemisk, fysisk og biologisk nedbrytning av PCB-molekylene kan variere. I tillegg er det en usikkerhet på ca. 25 % i de kjemiske bestemmelsene av PCB i laboratoriet. NGU har på bakgrunn av informasjonen i SFT-rapport 97:33: ”Tolkning av PCB-profiler og beregning av totalt PCB-innhold i marine sedimenter” (Konieczny og Mouland, 1997) laget et dataverktøy som gjør det enkelt å sammenligne egne resultater med de vanligste tekniske PCB-blandingene. For prøvene i og rundt Puddefjordsbrua er det et tydelig innslag av PCB-typen Kanechlor KC-500 i blanding med en av de vanligste Aroclor-typene (1254) eller Clophen A50 og A60. I figur 41 er det tegnet inn et eksempel med 50 % Kanechlor KC-500 og 50 % Aroclor 1254.

Det er tydelig at Puddefjordsbrua har vært en vesentlig kilde til PCB i sitt nærområde siden byggingen i 1956. Vedlikeholdsarbeid, spesielt midt på 80-tallet har kunnet spre malingsrester med PCB til Puddefjorden og til jorda i området rundt brua. Det er fortsatt et visst innhold av PCB igjen i de ytterste lagene av betongen, noe som kan skyldes at ulike komponenter som PCB i overflatebehandling/maling kan ha diffundert noe inn i betongen. Det er lite trolig at Puddefjordsbrua utgjør noen vesentlig kilde til PCB-forurensning i området slik den står i dag. Jorda i området rundt brua er imidlertid forurenset med PCB, og det bør gjøres mer utfyllende undersøkelser for å bestemme omfanget av denne forurensningen, for å gjennomføre tiltak som kan hindre videre spredning av PCB fra byjorda til Puddefjorden.

## 6. KONKLUSJONER OG VIDERE UNDERSØKELSER

### 6.1 Spredningsfare for miljøgifter over tette flater rundt Bergen havn

Innholdet av utvalgte uorganiske (arsen, tungmetaller) og organiske (PCB) miljøgifter i prøver av sandfangsmaterialer rundt Bergen havn viser at det i dette området er viktige aktive kilder til forurensning. Kildene må karakteriseres som aktive, da materialene som fanges opp i sandfangene blir fraktet i gateplan ved overvann, spesielt i nedbørsperioder. Disse materialene er "underveis" ett eller annet sted. I Bergen er avløpsnettets laget slik at deler av overvannet ledes på en avløpsledning som leder til et renseanlegg og et utslippspunkt utenfor bysentrum. Flere overvannsledninger og kummer står likevel i direkte forbindelse til havnebassenget. I tillegg vil overvannet i områdene nedstrøms for ledningsnettets pumpestasjoner renne rett ut i sjøen. Avløpsnettets er sårbart ved kraftig nedbør, og overløpssituasjoner kan forekomme så ofte som 30 % av tiden i en by som Bergen med 2250 mm nedbør i året (Oddmund Soldal, pers.med.)

Både tungmetaller og PCB er ofte adsorbent på eller absorbert i partikler av forskjellig størrelse. NVE antyder at partikler under en størrelse på 250 µm lett holdes suspendert i en vannmasse, og er altså lett tilgjengelig for spredning over større distanser. I perioder med kraftig nedbør, mye overvann og overløpssituasjoner kan også større partikler ledes fra tette flater på land og rett ut i sjøen. Sandfangsmaterialene i NGUs undersøkelse har vist seg å variere med tanke på kornfordeling, men flere av prøvene inneholder til dels svært mye finkornet materiale under 250 µm, partikler som altså lett spres i det urbane miljøet. PCB, som er en av de viktigste miljøgiftene, og som tidligere også er påvist i høye konsentrasjoner både ute i havnesedimentene, i byjorda og i enkelte spesifikke kilder på land i Bergen, har blitt bestemt i ulike kornstørrelsesfraksjoner. Disse undersøkelsene viste at PCB kan være bundet til både fint og grovt materiale, men at det i områder hvor bygningsmaterialer (rester fra vedlikehold av betong og murpuss) er en sannsynlig kilde, er PCB ofte bundet i fraksjonen 250 – 500 µm og oppover. I området hvor et avfallsmottak er den sannsynlige kilden til PCB forekommer PCB i like store konsentrasjoner over hele kornstørrelsesspekteret.

Sandfangene representerer hvert sitt begrensede "nedslagsfelt", dvs. område som overvannet kan hente materialer fra og legge igjen i sandfangskummen. Dette gjør at prøvetakingen av sandfangsmaterialer er svært spennende med tanke på å lokalisere forurensningskilden. Dette vil bli fulgt opp videre i "Urban Risk"-prosjektet.

Sandfang nær havnebassenget står ofte i direkte kontakt med sjøen, enten via direkte utslipp eller under overløpssituasjoner, noe som betyr at de forurensede materialene kan spyles ut til havnebassenget og føre til økt forurensning av sedimentene ute i sjøen. En opprydning eller tildekking av forurensede sedimenter i indre havneområder vil sannsynligvis ha en kortvarig effekt dersom miljøgiftene stadig transporteres til sjøen fra de aktive forurensningskildene på land via overvannsystemet. Det er derfor viktig at slike spredningsundersøkelser blir gjort før ulike tiltak settes i verk ute i de marine sedimentene. Da vil man kunne få en bedre oversikt over den videre forurensningsfaren.



## 6.2 Avrenning fra tette flater

I en modell for miljøgifter i overvann fra tette flater vist i Lindholm (2004) er det presentert forslag til sjablonkonsentrasjoner ( $\mu\text{g/L}$ ) av løst stoff. Disse konsentrasjonene er basert på undersøkelser først og fremst fra Norge og Norden, og skal kunne brukes i tilfeller der det ikke er gjort miljøundersøkelser. Beregningene som er gjort viser at forurensningsnivået i overvannsavrenning fra tette flater ofte overskrider SFTs tilstandsklasse V, dvs. meget sterkt forurenset vann.

Det er lite ønskelig å benytte teoretiske sjablonverdier i slike miljøundersøkelser, til tross for at det kan være økonomisk besparende. NGUs undersøkelser av forurenset byjord og spredning av miljøgifter fra urbane strøk mot havnebassenget indikerer at det er store lokale forskjeller, og det vil alltid dukke opp overraskende resultater. I Lindholm (2004) er det beskrevet at det atmosfæriske nedfallet av ulike uorganiske miljøgifter som kadmium, bly og nikkel har minket de siste år, og at innholdet av slike miljøgifter vist som en tidstrend er sterkt nedadgående. Det kan nok stemme i forhold til tilførsel fra nedbør og atmosfærisk nedfall, men byjorda vil inneholde kjemiske spor langt bakover i historien, og vil fortsatt akkumulere eventuell ny tilførsel. På den måten vil byjorda fungere som et miljøgiftreservoir for spredning via overvannssystemet. En stor andel av miljøgiftene er partikkelbundet, noe det er tatt hensyn til i Lindholms modell, men det er lite data for miljøgiften PCB. NGUs undersøkelser i Bergen viser et høyt innhold av PCB både i fine ( $0 - 250 \mu\text{m}$ ) og grovere partikler. Ved høy overvannføring vil innholdet av bl.a. PCB i byjord og andre materialer i bysentrum kunne transporteres i retning av for eksempel havnebassenget.

## 6.3 Oppfølgende undersøkelser i "Urban Risk"

"Nedslagsfeltene" til enkelte av de sandfangene, som det ble påvist høye konsentrasjoner av PCB og enkelt tungmetaller i, vil bli fulgt opp med utfyllende prøvetaking. Det vil bli aktuelt å karakterisere spesifikke kilder til PCB og tungmetaller i disse områdene. Det vil bl.a. bli tatt ut kjerneprøver fra utvalgte husfasader og andre betongkonstruksjoner der det vil bli bestemt innholdet av PCB i prøver av betong, murpuss og maling. Det vil i enkelte nedslagsfelt også bli tatt ut prøver av gammel asfalt ved hjelp av kjerneboring. Innholdet av PCB i asfalt, asfaltlim og vegmerking vil bli bestemt. Avfallsmottaket i Grønneviksøren er åpenbart en kilde som må undersøkes nærmere, også med tanke på håndtering av farlig avfall. I tillegg er områdene knyttet til BMV – Laksevåg interessante for oppfølgende undersøkelser, siden det her ble påvist til dels svært høye konsentrasjoner av enkelte tungmetaller.

Bruk av teoretiske sjablonverdier og utarbeidede modeller i overvannssystemet kan brukes for å beregne spredning av miljøgifter over tette flater, men NGUs filosofi på dette området har alltid vært å analysere flest mulig prøver for å gi best mulig beslutningsgrunnlag. Det vil bli forsøkt å sette opp en stasjon for vannføringsmåling i et utvalgt nedslagsområde til ett av sandfangene. Vannføringen må så måles kontinuerlig over en lengre periode, og eventuelle overløpssituasjoner vil bli markert. Videre er det også planer om å måle massetransport i overvannssystemet. På bakgrunn av slike data kan man utvikle en revidert modell basert på reelle empiriske data for spredning av miljøgifter fra tette flater rundt Bergen havn.

Det videre arbeidet med spredning av miljøgifter over tette flater i et bymiljø er kort presentert på de neste sidene.

## **SØKNAD OM TILSKUDD TIL DOKTORGRADSPROSJEKTET "URBAN RISK: IDENTIFISERING OG KARAKTERISERING AV AKTIVE OG POTENSIELLE FORURENSNINGSKILDER PÅ LAND RUNDT BERGEN HAVN OG UTVIKLING AV REVIDERT SPREDNINGS-MODELL".**

Norges geologiske undersøkelse (NGU) søker om kr 309 200 i tilskudd til doktorgradsprosjektet "Identifisering og karakterisering av aktive og potensielle forurensningskilder på land rundt Bergen havn og utvikling av revidert modell for spredning av miljøgifter fra tette flater".

Sommeren 2004 igangsatte Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) et doktorgradsprosjekt med tittelen "Urban Risk: Identifisering og karakterisering av aktive og potensielle forurensningskilder på land rundt Bergen havn og spredningspotensialet fra disse". Cand. Scient. Morten Jartun ble ansatt som stipendiat. NGU og NTNU dekker hans lønn i 4 år. Driftsmidler til nødvendige feltundersøkelser og kjemiske analyser må innhentes fra eksterne kilder.

NGU har i tidligere undersøkelser påvist omfattende bruk av PCB i puss og maling i yttervegger på boligblokker og skolebygg satt opp i tidsrommet 1950-1970. En spredning av PCB fra vegg til jord i området rundt disse byggene er dokumentert. Hvilket bidrag denne PCB-kilden har for situasjonen i havnebassenget er foreløpig ikke kjent.

Rapporten "Tiltaksplan for Bergen havn" har påvist til dels sterk forurensning av PCB, PAH og metaller i havnebassenget i Bergen. Før oppryddingstiltak i de mest forurensede områdene iverksettes, har Bergen kommune bedt om en oversikt over mulig fremdeles aktive PCB-kilder og beregne betydningen av disse.

Fylkesmannen i Hordaland bevilget i 2004 kr 198 000 i støtte til dr.gradsprosjektet knyttet til en undersøkelse av sandfangsmasser fra sandfang rundt havnebassenget i Bergen. Stipendiaten prøvetok 64 ulike sandfangskummer med direkte tilknytning til havnebassenget. Innholdet av PCB ble bestemt i samtlige prøver, og det ble påvist PCB i 59 av de 64 prøvene. Undersøkelsen viste betydelig aktiv spredning av PCB fra bymiljøet via overvannssystemet. Sannsynligheten for at dette har vesentlig betydning for tilførselen av PCB til Bergen havn er stor, da flere av sandfangene har direkte kontakt med sjøen. I tillegg ble det foretatt en omfattende undersøkelse av Puddefjordsbroen som potensiell PCB-kilde. Undersøkelsene avslørte at broen tidligere har blitt påført et lag med maling eller tilsvarende materialer som har inneholdt PCB.

Foreløpige tolkninger av resultatene indikerer PCB-kilder på land med stor utbredelse og som utsettes for aktivt forvitring og spredning. Dataene peker også på en klar sammenheng mellom type PCB i sandfangene og i de marine sedimentene utenfor. Resultatene for PCB viser at det er aktive forurensningskilder på land som har betydning for miljøtilstanden ute i havnebassenget.

I en mer detaljert undersøkelse ble PCB-innholdet i sandfangsprøvene bestemt i fem ulike kornfraksjoner av sandfangsmassene. Resultatene viser at fordelingen av PCB mellom ulike fraksjoner varierer med type kilde. I området hvor antatt kilde er puss/maling forekommer de høyeste PCB-konsentrasjonene i relativt grove materialfraksjoner (0,25 – 0,5 mm). I området hvor et avfallmottaksanlegg er sannsynlig kilde, forekommer de like mye PCB i alle de undersøkte fraksjonene.

Innholdet av 32 metaller er også bestemt i sandfangsmassene fra Bergen. Resultatene kan deles i fire hovedgrupper:

1. Noen metaller (for eksempel kvikksølv) har ingen aktiv spredning i fra tette flater.
2. Andre metaller (som tinn) har enkelte markerte kilder knyttet til skipsreperasjonsverksteder.
3. Et tredje mønster er representert ved metallet bly som viser en klar aktiv spredning sannsynligvis knyttet til forekomst av gammel hvitmaling på husfasader.
4. Sinkfordelingen indikerer aktiv spredning fra kilder med stor utbredelse, sannsynligvis fra veitrafikk og dekkslitasje.

Dr.gradsarbeidet har avdekket aktiv spredning av PCB og noen metaller fra landkilder til marine sedimenter i Bergen. Type kilder er hittil ikke avdekket. Neste trinn i doktorgradsarbeidet er knyttet til kildekarakterisering og måling av massetransport fra land til sjø. En prosjektplan for trinn 2 er vedlagt. Det er behov for eksternfinansiering på kr 309 200,-.

*Med hilsen*

*Morten Smelror*  
Avdelingsdirektør

*Rolf Tore Ottosen*  
Professor II/Lagleder

*Vedlegg: Prosjektplan for trinn 2 i dr.gradsstudiet.*

## ***Prosjektplan trinn 2: Oppfølgende undersøkelser i 2005***

### **Kildekarakterisering: partikkelkarakterisering, fysiske og kjemiske analyser**

Hvert enkelt av de 64 prøvetatte overvannssystemene er befart og mulige kilder for PCB og metaller er nedtegnet. Enkelte "nedbørsfelt" vil bli fulgt opp med prøvetaking av mulig PCB- og metallkilder.

- ◆ Partikkelkarakterisering  
Sandfangsprøvene vil bli studert i vanlig mikroskop og elektronmikroskop. Beskrivelsen vil gi holdepunkter for hvilke type PCB- og metallkilder som er aktive i "nedbørsfeltet".
- ◆ Husfasader: maling, puss og betong  
Fra fem "nedbørsfelt" vil det fra husfasader bli tatt kjerneprøver med uttak av prøver av betong, puss og maling. I prøvene vil innholdet av PCB og metaller bli bestemt. Det kalkuleres med ca 50 prøver av både betong, puss og maling.
- ◆ Betongkonstruksjoner  
Noen få betongkonstruksjoner vil bli undersøkt (prøvetaking og kjemisk analyse) med hensyn på mulig innhold av PCB. Anslagsvis vil det bli samlet inn 20 prøver.
- ◆ Asfalt: Asfalt, veimaling, asfaltlim  
I "nedbørsfelt" med gammel asfalt (>30 år) vil kjerneprøver av asfalten bli samlet inn og innholdet av PCB og metaller bestemt. Det regnes med ca 30 prøver.
- ◆ Avfallsmottak  
Avfallsmottaket i Grønneviksøren vil bli undersøkt med vekt på håndtering av farlig avfall. Innholdet av PCB og metaller vil bli bestemt i ca. 10 prøver.
- ◆ Skipsreperasjonsanlegg  
Resultatene viser høyt innhold av PCB og metaller knyttet til BMV – Laksevåg. Området vil bli detaljert prøvetatt og prøvenes innhold av PCB og metaller bestemt. Det er kalkulert med 20 prøver.
- ◆ Andre kilder (nedbør)  
Undersøkelsene som er gjennomført på Håkonsvern, antyder at nedbør kan være en viktig kilde til PCB. Det vil bli innsamlet regnvannsprøver for bestemmelse av innholdet av PCB og metaller. Til sammen ca 20 prøver.

### **Måling av vannføring og sedimenttransport i overvannsystemet**

Det kommunale ledningsnett ble opprinnelig bygd som "fellessystem", dvs. at både overvann og spillvann fra husholdning og industri ble samlet i de samme rørene ned til utslippspunktet ved sjø. Etter ca 1965 har ledningsnett i større grad blitt bygget om til "separatsystem", dvs. at overvann blir ledet korteste veien til sjøen, mens spillvannet ledes i egne rør til renseanlegg.

Fremdeles er det fellessystem som er i bruk de fleste stedene rundt Bergen havn, fordi det er kostbart å gjennomføre en komplett omlegging til separatsystem. Dette fungerer greit så lenge

det ikke er store mengder overvann. I perioder med mye nedbør kan man ikke lede alt avløpsvannet ut til rensesanlegget. Da trer overløpsfunksjonen i kraft, dvs. at deler av avløpsvannet renner urensset til nærmeste utslipp til sjøen, i stedet for å bli ført til rensesanlegget.

- ◆ Måling av vannføring i overvannsystemet  
Det settes opp en stasjon for vannføringsmåling i et av "nedbørsfeltene". Det skal måles vannføring kontinuerlig i en 2 måneders periode. Overløpssituasjoner blir markert.
- ◆ Måling av massetransport i overvannsystemet  
I det "nedbørsfeltet" hvor vannføring bli målt, skal det monteres en ISCO ; automatisk vann/partikkelprøvetaker. Det skal samles inn prøver 4 ganger per døgn i en to måneders periode. Mengden suspendert materiale skal måles.
- ◆ Utvikling av revidert modell for spredning av miljøgifter fra tette flater  
Resultatene av de kjemiske analysene, vannføring, overløpssituasjoner og massetransport skal danne det empiriske grunnlaget for utvikling av en revidert modell for spredning av miljøgifter fra tette flater.

## Budsjett for videre undersøkelser i Bergen

Post	Arbeidsoppgaver	Enhetspris	Sum
Partikkelkarakterisering	Mikroskoppreparater (20 stk)	kr. 400/stk	kr. 8000
	Mikroskopering (90 timer)	kr. 600 / time	kr. 54000
	Leie av elektronmikroskop	kr. 400/time	kr. 8000
Husfasader: maling, puss og betong	Prøvetaking (50 borkjerner), Kjemiske analyser: 1) maling, 2) puss og 3) betong (PCB)	kr. 30000 kr. 550/stk	kr. 30000 kr. 82500
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 78750
Betongkonstruksjoner	Prøvetaking (20 prøver)	kr. 10000	kr. 10000
	Kjemiske analyser (PCB)	kr. 550/stk	kr. 11000
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 10500
Asfalt: asfalt, veimaling, asfaltlim	Prøvetaking (30 prøver)	kr. 15000	kr. 15000
	Kjemiske analyser (PCB)	kr. 550/stk	kr. 16500
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 15750
Avfallsmottak	Befaring og uttak av prøver (10 stk)	kr. 600/time	kr. 3000
	Kjemiske analyser (PCB)	kr. 550/stk	kr. 5500
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 5250
Skipsreparasjonsverksted	Prøvetaking (20 prøver)	kr. 10000	kr. 10000
	Kjemiske analyser (PCB)	kr. 550/stk	kr. 11000
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 10500
Nedbør	Prøvetaking (10 prøver)	kr. 10000	kr. 10000
	Kjemiske analyser (PCB)	kr. 550/stk	kr. 5500
	Kjemiske analyser (metaller)	kr. 525/stk	kr. 5250
Måling av vannføring	Montering av vannstandsmåler	kr. 10000	kr. 10000
	Kontinuerlig måling i to måneder	kr. 200/døgn	kr. 12000
Måling av massetransport	Montering av ISCO	kr. 10000	kr. 10000
	Prøvetaking 4 ganger pr døgn i to måneder (60 d)	kr. 200/døgn	kr. 12000
	Masseberegning (4 x 60d x 80kr)	kr. 80/prøve	kr. 19200
Modellutvikling	Bruke de empiriske dataene (kjemi, vannføring, overløp og massetransport) som grunnlag for revidert modell (150 t)	kr. 600/time	kr. 90000
Diverse utgifter			kr. 10000
Prøveemballasje			kr. 5000
Leiebil			kr. 5000
Rapportering/ publisering	Rapport fra undersøkelsene, ca. 200 t 2 Vitenskapelige publikasjoner	kr. 600/time	kr.120000
<b>Sum budsjett</b>			<b>kr. 699 200</b>
	<b>Andel SFT</b>		<b>kr. 309 200</b>
	<b>Andel NGU/NTNU</b>		<b>kr. 390 000</b>

NGU/NTNU dekker lønnskostnader (timer) og bestemmelse av metaller.

## 7. REFERANSER

- Andersson, M., Volden, T., Haugland, T. og Ottesen, R.T., 2002. PCB i yttervegger i hus fra Bergen og i uteområdene rundt bygningene. NGU-rapport 2002.012, 15 s.
- Andersson, M., Ottesen, R.T. og Volden, T., 2003. PCB i barns lekemiljø i Bergen. NGU-rapport 2003.058., 22 s.
- Andersson, M., Volden, T. og Jartun, M., 2005. PCB i asfalt i Trondheim. NGU-rapport 2005.045, 6 s.
- Bergen kommune, 1990. VVA-norm –90. Normer for utførelse av veg-, vannforynings- og avløpsanlegg i Bergen kommune, Del 1 og 2. Bergen kommune, Teknisk utbygging. Perm.
- Bergen kommune, 1997. Hovedplan for avløp og vannmiljø 1997 –2007. Bergen kommune, Kommunalavdeling Teknisk Utbygging, Vann- og Avløpsetaten, 39 s.
- Bergen kommune, 1998. Slamplan for Bergen, hovedrapport. Bergen kommune, teknisk utbygging 1998, A/S Garmann & Co, 63 s.
- Bergen kommune, 2000. Vi har lagt rør siden 1853 – nå må vi fornye dem. Bergen kommune, Byutvikling, Vann- og Avløpsetaten, 6 s.
- Bergen kommune, 2004. Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune. Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling, Vann- og avløpsetaten. Utgave: Foreløpig utkast, 01.09.2004, 34 s.
- Friberg, Lars, Nordberg, Gunnar F. og Vouk, Velimir B., 1986: Handbook on the Toxicology of Metals – Volume I and II. 2<sup>nd</sup> edition, Elsevier Science Publishers B.V., 458 og 704 s
- Jansson, B., Sandberg, J., Johansson, N. og Åstebro, A., 1997. PCB i fogmassor - stort eller litet problem? Rapport 4697, Naturvårdsverket, Sverige.
- Jartun, M., Steinnes, E. og Ottesen R.T., 2003. Urban soil pollution and the playfields of small children. Journal de Physique IV, vol. 107, 671 – 674.
- Konieczny, R.M. og Mouland, L., 1997. Tolkning av PCB-profiler og beregning av totalt PCB-innhold i marine sedimenter. SFT-rapport 97:33. TA 1497/1997, 48 s.
- Lindholm, O., 2004. Miljøgifter i overvann fra tette flater. Litteraturstudie. NIVA-rapport Lnr 4775 – 2004, 42 s.
- Ottesen, R.T. og Volden, T., 1999. Jordforurensning i Bergen. NGU-rapport 99.022., 27 s.
- Ottesen, R.T. og Alexander, J., 2003. Forslag til akseptkriterier av PCB-forurenset grunn basert på helsevurderinger og forskrift om farlig avfall. NGU-rapport 2003.048, 12 s.
- Ryberg, D. og Haugen, Aa., 1994: Treimpregnering med CCA og utslipp av kopper, krom og arsen til miljøet. Risiko for helseskade. Statens arbeidsmiljøinstitutt, HD 1052/94 FOU, 52 s.

SSB: Tall og informasjon fra Statistisk sentralbyrå (SSB) på nett. <http://www.ssb.no>

Statens forurensningstilsyn, 1993. Miljøgifter i Norge. SFT-rapport 93:22, 115 s.

Statens forurensningstilsyn, 1997. Miljøgifter i produkter. Data fra 1996. SFT-rapport 98:03. 31 s.

Tiltaksplan for Bergen havn, 2004. Samlerapport for undersøkelser administrert av Miljøvernavdelingen ved Fylkesmannen i Hordaland.

Waldum, A.M. og Engelsen, C.J., 2003. PCB-holdige materialer i puss og betong. En historisk oppsummering og kjemisk analyse av 10 utvalgte malingsprøver. Byggforsk – Norges byggforskningsinstitutt O-10786, 6 s.



## **VEDLEGG:**

- **Rådata for tungmetaller samt koordinater for sandfangsprøvene (koordinater fra Bergen kommunes digitale kartverk)**

<b>Id</b>	<b>Øst</b>	<b>Nord</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Sn</b>	<b>Hg</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Ti</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>V</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd_ICP</b>	<b>Cr</b>	<b>Ba</b>	<b>Sr</b>	<b>Zr</b>	<b>Ag</b>	<b>B</b>
1	61058	65179	19,9	5,74	47,5	0,80	464	11300	25300	867	7030	32200	767	1990	347	856	1480	3800	385	31,1	10,1	31,3	2,54	5,63	56,2	642	117	13,4	1	347
2	60896	65169	7,2	4,41	47,7	0,15	154	12300	36400	1380	6990	9240	731	3430	394	949	731	927	302	63,2	10,6	42,1	8,26	4,44	60,3	481	57,5	6,1	1	10,4
3	60881	65142	3,8	0,53	7,3	0,08	177	10100	19000	1100	6180	9560	762	2320	474	1260	100	461	64,9	25,2	8,69	36,8	2,69	0,41	31,2	210	59,0	4,5	1	2,5
4	61645	64881	0,5	0,02	1,5	0,38	110	6470	9970	912	3920	4570	330	2000	183	1020	15,9	51,3	9,0	10,2	4,06	21,0	0,25	0,05	11,0	69,9	29,3	1,8	1	2,5
5	61437	65446	2,7	0,27	4,7	0,06	202	15100	21100	1470	9170	11200	1050	3360	333	1430	88,4	443	62,1	32,1	10,5	47,0	1,58	0,17	29,0	181	86,4	3,0	1	2,5
6	61454	65608	2,1	0,28	3,3	0,06	228	14100	21600	1250	9200	9910	1660	2990	321	1120	62,8	270	40,1	36,5	11,4	43,5	1,71	0,22	25,5	160	74,4	4,2	1	2,5
7	61338	65776	4,5	0,34	1,5	0,04	137	9450	18500	1070	6160	6860	1240	2770	400	1230	59,6	196	59,7	20,4	7,45	35,9	0,87	0,21	23,7	139	42,4	2,6	1	2,5
8	61285	65852	2,0	0,46	1,5	0,58	495	7260	8940	733	3760	52900	491	2110	168	440	21,1	512	45,9	9,6	5,21	19,1	0,89	0,39	17,5	112	133	7,8	1	5,9
9	60648	66123	2,6	0,35	6,0	0,01	133	8660	18400	713	5050	7040	1150	1700	198	884	77,4	604	30,5	23,2	6,85	30,6	2,55	0,24	23,2	127	49,7	3,1	1	2,5
10	60477	65895	3,0	0,13	5,3	0,01	117	7840	13300	942	5090	7720	662	1700	191	1240	65,3	233	23,1	21,0	9,13	27,4	3,57	0,11	16,4	124	49,8	2,6	1	2,5
11	60065	65409	4,4	0,27	15,4	0,03	176	11700	17400	1140	7160	12300	699	3350	251	1070	294	530	43,8	55,3	9,09	41,8	6,98	0,17	27,7	152	60,0	6,6	1	2,5
12	60044	65515	4,1	0,31	13,0	0,09	124	9590	15500	936	5700	9580	704	1710	207	1030	275	390	117	27,8	9,46	30,0	5,26	0,19	39,0	180	60,3	4,0	1	2,5
13	60004	65568	1,9	0,06	1,5	0,03	50	11600	16500	1310	7660	12100	740	3230	277	2030	76,8	148	18,4	22,5	11,9	31,4	0,25	0,05	12,7	203	70,6	1,5	1	2,5
14	59752	65608	6,1	0,35	39,6	0,03	347	7790	22200	725	15100	41800	556	1500	307	853	855	784	47,3	27,5	10,0	26,4	12,9	0,21	26,5	133	82,9	8,0	1	2,5
15	59457	65853	3,3	0,25	7,0	0,05	130	9860	20900	1120	6700	9180	743	2450	285	1300	95,4	590	28,6	28,1	10,1	40,2	4,46	0,16	33,6	168	49,4	3,9	1	2,5
16	59548	65866	2,6	0,32	10,1	0,03	106	8440	14700	777	4480	6160	564	1540	184	821	96,5	451	54,9	22,9	9,70	24,4	2,38	0,24	23,5	99,9	40,1	6,8	1	2,5
17	59441	66043	3,1	0,37	12,8	0,06	175	12300	19600	1310	7630	11700	1380	2710	323	1250	129	578	49,3	26,2	14,1	46,6	5,30	0,28	31,5	168	64,7	5,1	1	2,5
18	58405	65952	4,3	0,36	9,6	0,08	131	13100	22000	1490	7720	11600	866	3800	335	1680	105	373	70,0	23,9	29,4	42,7	4,76	0,24	21,9	191	68,9	4,1	1	2,5
19	58476	66001	5,6	0,51	9,3	0,08	264	11400	19100	877	5860	8100	844	2160	235	1010	95,1	644	65,6	24,9	46,7	32,5	3,11	0,41	20,8	140	55,8	4,3	1	2,5
20	58576	65922	9,2	0,29	8,2	0,05	190	7500	13800	898	4390	6350	569	1700	206	1010	124	346	42,2	18,1	6,99	26,2	4,32	0,24	25,4	157	47,5	3,5	1	2,5
21	58601	65918	4,7	0,42	10,3	0,08	234	15400	20600	1550	8520	11000	1150	3260	331	1200	143	381	39,0	32,7	9,77	50,0	4,89	0,29	34,7	274	86,1	5,0	1	2,5
22	58216	66209	53,8	2,42	260,0	0,22	629	16000	75400	1220	9200	11900	2660	3710	637	1020	1160	3140	596	309	162	44,0	72,9	1,52	135	841	111	26,0	1	25,5
23	58038	66411	15,3	11,10	444,0	0,06	159	5340	46800	269	1790	2440	659	750	435	398	6600	3150	661	198	29,0	12,6	31,4	11,6	90,6	178	27,8	18,1	1	2,5
24	57936	66472	2,3	0,16	5,1	0,02	127	7970	13500	821	4980	9190	631	2500	218	788	55,2	181	17,4	20,3	6,79	24,7	3,37	0,05	18,9	113	48,6	2,8	1	2,5
25	58793	65500	2,2	0,07	5,2	0,03	148	9600	11100	674	5110	6350	867	1800	172	742	46,0	228	16,3	24,6	7,33	26,9	2,01	0,05	14,3	110	52,9	2,4	1	2,5
26	59173	65708	2,6	0,22	13,4	0,03	50	8600	15400	1190	5600	7360	778	3190	245	1590	165	261	35,6	18,2	7,75	31,0	2,34	0,10	19,8	224	48,8	3,0	1	2,5
27	59354	65576	4,4	0,80	14,9	0,21	205	11200	19500	1230	6180	8160	1680	2860	266	1080	140	497	66,2	55,5	11,4	38,8	4,89	0,62	36,1	270	59,5	3,8	1	2,5
28	59523	65523	8,7	0,52	16,9	0,06	499	8660	21700	970	4710	16000	3640	2140	286	639	200	533	210	26,0	8,28	23,5	17,3	0,41	32,7	306	95,4	6,8	1	2,5
29	59748	65306	6,6	1,19	7,7	0,38	171	11900	21800	1200	6430	8140	663	3460	295	1030	131	1050	164	30,6	11,0	36,8	1,94	1,07	37,7	187	47,3	7,1	1	2,5
30	60204	65015	4,1	0,32	25,2	0,04	131	7150	24600	887	4500	7650	570	1720	279	1350	90,4	496	45,7	26,0	12,2	25,6	3,07	0,22	29,8	151	51,5	3,2	1	2,5
31	60353	64993	3,9	2,73	14,7	0,01	509	9450	18400	1100	5710	24400	554	3560	300	803	98,8	265	14,7	41,6	20,7	29,5	1,32	2,74	30,6	123	102	8,4	1	2,5
32	60270	64862	4,0	0,34	3,2	0,03	137	11700	23600	1850	8120	11100	1620	3210	397	2510	52,8	380	55,5	19,3	12,6	43,6	0,64	0,25	15,6	169	73,7	3,0	1	2,5
33	59451	65226	2,4	0,05	4,0	0,01	50	8550	17300	1200	5770	7050	523	2780	297	1180	54,5	143	10,6	53,6	8,10	33,7	3,57	0,05	76,5	151	43,4	2,5	1	2,5
34	60507	65243	3,4	0,45	10,6	0,08	461	7220	10500	706	4920	8020	707	1550	203	444	631	372	37,0	19,5	7,14	24,5	1,56	0,26	17,4	148	35,4	16,6	4	5

<b>Id</b>	<b>Øst</b>	<b>Nord</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Sn</b>	<b>Hg</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Ti</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>V</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Ba</b>	<b>Sr</b>	<b>Zr</b>	<b>Ag</b>	<b>B</b>
35	60454	65510	3,6	0,37	1,5	0,24	133	10300	16400	1100	6810	7100	580	2540	351	1320	56,7	478	127	22,9	8,00	42,9	1,07	0,28	22,0	156	44,7	1,2	1	2,5
36	59310	66341	2,1	0,38	6,1	0,04	158	14400	16200	1010	7850	8030	1420	2320	227	895	100	327	35,7	40,0	9,60	43,0	3,15	0,25	26,7	121	70,9	3,4	1	2,5
37	59379	66484	56,0	6,96	5,4	2,10	150	8100	14200	866	5750	11300	513	1700	211	1320	63,8	4670	675	15,5	8,66	25,3	0,67	6,20	29,6	691	59,1	5,0	1	2,5
38	59351	67114	5,1	0,42	7,6	0,17	162	11700	19800	1150	6740	8440	790	2640	403	1060	107	340	58,7	24,1	9,48	44,5	3,39	0,33	27,5	148	58,3	4,7	1	2,5
39	58841	67416	2,4	0,40	1,5	0,11	132	8150	12100	848	4560	5990	2080	1770	184	1040	56,7	243	63,0	16,0	9,12	29,7	1,45	0,27	19,9	97,8	37,6	1,7	1	2,5
40	58840	67355	2,3	0,27	1,5	0,05	319	7200	12000	886	4300	6540	563	1680	200	1030	57,4	196	48,8	14,8	6,23	28,7	1,63	0,12	20,6	106	33,8	2,5	1	2,5
41	59071	67154	3,3	0,19	1,5	0,27	162	10000	13700	808	6080	12200	784	2210	273	969	39,5	185	67,0	35,7	7,16	28,4	0,25	0,05	15,3	114	68,1	1,5	1	2,5
42	59681	66745	2,1	1,47	9,8	0,03	133	6160	14500	717	4150	6660	507	1400	205	796	122	219	35,2	22,6	7,25	19,7	3,02	1,29	22,9	87,9	35,6	2,8	1	2,5
43	59359	66741	3,1	0,42	1,5	0,06	50	7770	12500	802	4210	18300	513	1960	198	723	46,2	366	99,6	12,0	4,91	21,3	0,70	0,31	15,8	110	52,0	4,6	1	2,5
44	59259	66819	2,3	3,08	3,8	0,03	136	13300	19400	1360	8460	10600	2990	3110	312	1070	49,5	336	84,8	26,1	8,99	42,2	1,25	2,42	20,7	170	65,0	3,7	1	2,5
45	59183	66920	2,9	0,16	4,7	0,02	50	7420	13700	686	4330	5210	592	1500	214	754	54,8	233	32,9	18,5	5,96	24,5	1,21	0,05	19,9	73,6	37,2	4,6	1	2,5
46	59003	67068	2,4	0,23	4,6	0,03	104	9520	16600	1230	6110	14100	1250	2560	287	1130	50,9	191	18,5	17,3	7,73	34,6	1,28	0,05	21,5	118	57,0	3,9	1	2,5
47	59079	67422	10,2	1,41	4,7	0,20	300	9960	20000	918	5460	8780	734	2290	616	961	68,5	316	221	24,3	7,14	43,3	1,88	1,07	21,8	148	49,6	4,0	1	7,2
48	59011	67461	10,9	0,47	3,5	0,06	556	4860	9730	590	17900	44900	449	1280	128	562	25,1	674	165	7,4	3,78	18,0	2,89	0,28	14,3	156	55,4	5,3	1	2,5
49	59123	67277	7,2	0,49	10,2	0,13	162	12800	21500	1330	7440	8780	1210	3200	490	1130	139	400	84,1	35,4	9,70	51,3	8,85	0,31	28,5	155	53,2	5,3	1	2,5
50	59811	66772	6,4	0,42	6,3	0,10	172	8230	12900	786	4520	24300	922	1640	190	628	163	273	61,7	14,0	5,98	26,2	1,32	0,19	21,4	94,8	56,7	7,5	1	2,5
51	59857	66708	6,9	0,60	5,9	0,76	162	9710	14300	801	6810	14200	631	1950	213	1250	722	794	426	29,1	7,56	34,2	3,20	0,45	47,1	235	68,2	5,3	1	2,5
52	59926	66836	2,9	0,31	5,7	0,26	145	12400	17100	1140	7800	11600	1100	2770	294	1220	187	268	113	25,4	8,07	41,7	1,63	0,20	27,3	322	74,6	2,9	1	2,5
53	59670	67357	4,3	0,45	10,7	0,15	339	16300	23600	1770	9860	10500	975	4100	430	1310	748	457	64,2	30,1	10,6	69,0	2,78	0,41	34,8	239	74,4	7,6	1	2,5
54	59648	67371	1,9	0,07	1,5	0,03	212	9610	16600	1290	7350	7500	565	3280	676	1230	21,7	54,5	14,8	17,9	7,77	29,5	0,25	0,05	12,1	146	45,6	1,8	1	2,5
55	59857	67761	3,2	0,83	6,8	0,07	217	10100	13900	818	5210	6630	931	1950	199	710	113	562	94,1	24,5	6,97	29,4	3,40	0,53	25,6	169	53,2	4,1	1	2,5
56	59904	67305	22,7	3,17	6,0	0,05	279	8100	14400	740	5020	16700	519	1640	208	996	103	2900	668	20,7	7,92	23,9	1,70	2,70	47,9	325	70,7	5,6	1	2,5
57	59971	67204	3,4	0,68	3,3	0,13	245	9410	14800	845	4880	18200	608	1790	242	951	96,6	643	180	19,4	7,37	26,5	2,12	0,39	23,3	173	48,4	4,9	1	2,5
58	60104	67081	3,3	8,94	15,2	0,08	530	8820	13800	604	4370	123000	609	2220	440	586	122	403	46,4	27,6	15,6	20,6	3,90	7,18	19,0	101	139	5,4	1	2,5
59	60026	66990	8,4	0,49	3,6	0,07	167	8600	12600	800	4410	31200	529	1900	203	588	77,8	541	267	13,5	5,04	21,5	1,18	0,34	21,8	90,5	68,3	6,4	1	2,5
60	60051	66889	8,6	1,90	5,2	0,20	170	11100	15200	902	6730	32100	922	1620	236	1280	97,3	3000	416	18,5	11,2	26,4	0,90	1,58	31,1	204	78,9	11,2	1	2,5
61	60161	66758	3,3	0,46	8,1	0,06	104	6780	12200	773	4480	5980	531	1840	199	929	106	443	316	16,6	5,91	24,3	2,44	0,27	50,2	173	36,5	3,2	1	2,5
62	59760	65779	10,1	2,10	7,7	1,28	177	9170	22200	953	7130	50300	670	1940	263	649	67,3	2410	247	21,0	13,1	24,9	1,72	1,57	35,0	194	105	9,5	1	2,5
63	59881	65084	2,5	0,19	1,5	0,01	101	7460	19400	986	4810	5140	489	2440	276	839	44,1	127	20,5	16,5	6,05	25,3	1,07	0,05	15,3	110	33,0	2,5	1	2,5
64	61087	66014	2,1	0,16	1,5	0,03	115	9560	19100	1370	7440	7140	509	2360	382	1610	25,5	92,5	11,6	11,9	9,57	33,8	0,25	0,05	15,0	125	48,2	1,6	1	2,5
65	59441	66043	2,2	0,28	10,5	0,03	224	10100	17100	1140	6420	8320	1300	2510	268	1020	99,9	403	42,7	23,7	9,44	39,3	4,00	0,14	27,4	152	50,3	4,6	1	2,5
66	59484	65989	3,9	0,57	5,4	0,08	214	12500	18500	1320	6510	7570	692	2880	289	1010	99,0	498	64,4	24,4	9,98	45,4	2,32	0,40	26,5	197	53,6	2,3	1	2,5
67	59595	54407	4,8	0,46	10,2	0,05	179	14800	23600	1380	8940	48300	10800	3580	339	846	123	512	46,2	27,8	9,93	53,3	4,47	0,34	32,4	188	335	4,7	1	2,5
68	59595	54407	13,2	1,67	10,6	2,81	145	11500	21900	1200	6870	8780	1460	3110	660	1450	78,4	503	129	22,9	7,37	40,7	2,10	1,20	25,1	232	63,3	3,5	1	2,5

