

Miljøprojekt Nr. 616 2001

Teknologiudviklingsprogrammet for  
jord- og grundvandsforurening

## Afprøvning af jordvask

Christina Lindskov og Finn Oemig  
Erik K. Jørgensen A/S, Rådgivende Ingeniører

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

Forord

Sammenfatning og konklusioner

Summary and conclusions

<b>INDHOLD</b>	<b>3</b>
<i>BILAGSFORTEGNELSE</i>	3
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>9</b>
1.1 FORMÅL	9
1.2 OPBYGNING AF RAPPORTEN	9
1.3 BAGGRUNDEN FOR PROJEKTET	9
<b>2 JORDVASKEANLÆG</b>	<b>11</b>
2.1 PRINCIPPERNE VED JORDVASK	11
2.2 PROCESBESKRIVELSE	11
<b>3 RESULTATER</b>	<b>16</b>
3.1 INDLEDNING	16
3.2 FORSØGSJORD	16
3.2.1 <i>Sigteanalyser på jord 6</i>	17
3.3 RESULTATER AF JORDRENSNING	18
3.3.1 <i>Analyser af stenfraktionen, 32-100 mm</i>	19
3.3.2 <i>Resultater af rensning af de 6 jordtyper</i>	20
3.3.3 <i>Flytning af forurening mellem fraktionerne</i>	30
3.3.4 <i>Analyse til vurdering af egnethed til jordvask</i>	33
<b>4 RESSOURCEFORBRUG</b>	<b>34</b>
4.1 SAMMENLIGNING MED PRISEN FOR DEPONERING	34
<b>5 FORELØBIGE KONKLUSIONER</b>	<b>37</b>
<b>6 REFERENCER</b>	<b>38</b>

## BILAGSFORTEGNELSE

Resultater for Jord 6	Bilag A
Resultater for Jord 1	Bilag B
Resultater for Jord 2	Bilag C
Resultater for Jord 3	Bilag D
Resultater for Jord 4	Bilag E
Resultater for Jord 5	Bilag F

# Forord

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et jordvaskeprojekt gennemført delvis med støtte fra Miljøstyrelsens Teknologipulje. Projektet var et fuldskalaprojekt, og formålet var at undersøge potentialet for jordvask i Danmark.

Rapporten er udarbejdet af Christina Lindskov og Finn Oemig fra Erik K.Jørgensen AS, Rådgivende Ingeniører og af direktør Vagn Frederiksen og Lajla Højbjerg fra K.K. Miljøteknik A/S i foråret 2000.

Rensningsprojektet blev gennemført ved opstilling af et tysk jordvaskeanlæg på K.K. Miljøteknik's anlæg i Rødby. Efter forsøg med rensning af seks forskellige typer jord og typer af forureninger, gik det tyske firma desværre konkurs, og det blev derfor nødvendigt at indstille projektet inden, alle de planlagte forsøgsrensninger var gennemført. Nærværende rapport indeholder derfor resultater fra de gennemførte forsøg på trods af, at projektet ikke blev så omfattende som forudsat.

# Sammenfatning og konklusioner

I nærværende rapport gennemgås resultaterne fra et fuldskala oprensningsprojekt for forurenede jord ved jordvask. Anlægget var indlejet af K.K. Miljøteknik AS til rensning af forurenede jord, som lå i depot i Rødby. Anlægget var fra det tyske firma Werner Frantzen.

Der blev gennemført seks forsøg med rensning af jord. Det sidste forsøg blev gennemført som en intensiveret prøvetagning efter aftale om støtte fra Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingspulje. Erik K. Jørgensen AS stod for prøvetagning og den senere afrapportering. Desværre gik det tyske firma efter dette forsøg konkurs, og alle yderligere planlagte kørsler med jordvaskeanlægget måtte indstilles.

Princippet ved jordvask gennemgås i kapitel 2 og går kort fortalt ud på, at man ved jordvask opnår en sortering af udgangsmaterialet i forskellige størrelsesfraktioner efter en mekanisk/fysisk behandling af jorden. Ved hjælp af sigtning, vask i tromler, separering i hydrocycloner, separationsspiraler eller separation i settlertanke fraktioneres indgangsmaterialet i 6 forskellige størrelsesfraktioner. De store fraktioner som sten, brokker, grus og sand forventes efter jordvask at kunne genbruges ved f.eks. bygge og anlægsprojekter, mens finfraktionen og den organiske fraktion enten skal renses eller deponeres efterfølgende. Vandet i et jordvaskeanlæg genbruges fra gang til gang og indeholder ikke væsentlige forureninger, idet jordvask primært er beregnet til rensning af jord for tungmetaller og tunge, organiske oliekomponenter.

Der blev gennemført rensning af i alt 3600 ton jord fordelt på fem forskellige typer jord med varierende indhold af forureningskomponenter og med forskellig historisk baggrund for forureningen. Der var både udvalgt to almindelige københavnske fyldjorder indeholdende tunge kulbrinter og bly samt jord fra farve/lak fabrik, en tidligere akkumulatorfabrik og jord fra et støberi.

En vigtig del af Teknologiuudviklingsprojektet var at opstille forslag til, hvilke indledende analyser eller karakteriseringer af jorden, der kunne anvendes til at vurdere jordens eventuelle egnethed til rensning ved jordvask. Jordens indhold af finfraktion viste sig at have en væsentlig indflydelse på, hvor stor en del af den rensede jord, der fandtes i de genanvendelige fraktioner. Til vurdering af jordens indhold af finfraktion fandtes en kornstørrelsesbestemmelse ved sigteanalyse at være det bedste redskab evt. kombineret med en analyse for indhold af naturligt organisk materiale.

Rensning af 3600 ton jord resulterede i, at ca. 680 ton blev rensede med et tilfredsstillende resultat. Kriteriet for en tilfredsstillende rensning var, at koncentrationen af forureningskomponenter i de genanvendelige fraktioner skulle ned på et niveau, så jorden kunne deponeres på fyldpladser eller lignende. Samtidig skulle andelen af de genanvendelige fraktioner være tilstrækkelig til, at økonomien i rensningen kunne sikres, og i de tre sidste forsøg fandtes ca. 65 % af jorden efter rensning i disse fraktioner.

Der viste sig betydelige problemer med rensning af jord indeholdende metallisk bly. Problemet viste sig at være, at bly blev separeret sammen med de størrelsesfraktioner, som blyklumperne fandtes i. Hvis anlægget skulle håndtere denne form for forureninger, ville det være nødvendigt med sortering efter vægtfylde, hvilket ikke var en enhedsoperation, som var tilknyttet det aktuelle anlæg, men som ville kunne tilkobles.

Et andet problem ved håndtering af specielt fyldjord var, at jorden indeholdt klumper af slagger, der blev separeret med de genanvendelige fraktioner. Ved efterfølgende analyse af stenfraktionerne, viste der sig indhold af både tungmetaller og tjærekomponenter i de forventede rene fraktioner. Idet slagger normalt ikke udgør noget problem ved genanvendelse i f.eks. anlægsprojekter under vejarealer eller lignende, vil der ved kontrol af de genanvendelige fraktioner være behov for en anden type af analyser, f.eks. udvaskningstests i stedet for totalanalyser.

I flere af forsøgene viste der sig mere forurening efter jordvask end før. Dette formodes at skyldes forureningens inhomogene fordeling i jorden inden rensning, hvorimod indholdet efter rensning vil være mere jævnt fordelt. Dette har givet nogen vanskeligheder i forbindelse med tolkning af resultaterne, og generelt har man valgt at se bort fra denne komplikation ud fra en vurdering af, at der ikke kan tilføres forurening til jorden ved en jordvask.

Der viste sig ingen markant forskel på resultaterne ved rensning af tungmetaller og rensning af tunge kulbrinter ved jordvask. Begge stofgrupper vurderes at være lige velegnede til jordvask.

Det blev forsøgt at vurdere, om der blev flyttet forurening fra store fraktioner til små fraktioner ved sammenligning mellem Indanalyser og Udanalyser. På baggrund af analyserne fra kun et forsøg var det ikke muligt at udlede nogen klar konklusion på denne hypotese.

Ressourceforbruget til jordvask er belyst i kapitel 4. Ved rensning af 3600 ton jord blev der forbrugt 12.000 liter olie og 1500 m<sup>3</sup> vand. Det svarer til ca. 3,3 liter olie/ton og 0,42 m<sup>3</sup> vand/ton rensed jord og en deraf følgende udgift på ca. 25 kr./ton. Dette vurderes at være et acceptabelt forbrug.

På baggrund af de forventede udgifter til deponering af restfraktionerne kan det estimeres, at jordvask må koste mellem 300 og 500 kr. pr. ton rensed jord. K.K. Miljøteknik AS havde betalt det tyske firma Werner Frantzen 300 kr./ton for rensning af jorden.

På baggrund af de gennemførte forsøg vurderes jordvask at være en mulighed for rensning af jord i Danmark. Dog vurderes det som nødvendigt at forbedre resultaterne f.eks. ved indsættelse af yderligere enhedsoperationer til behandling af specielle forureningstyper.

# Summary and conclusions

The present report evaluates the results from a full-scale project concerning cleaning of contaminated soil in a soil washing plant. K.K. Miljøteknik AS rented the plant for cleaning of soil that was stored in Rødby. The soil washing plant was rented from the German Company Werner Frantzen.

Six trials with cleaning of soil were carried through, and the last trial was completed with an intensive soil sampling, due to an agreement of financial support from the Danish Environmental Protection agency. Erik K. Jørgensen AS was responsible for the sampling and the following report. Unfortunately the German Company went bankrupt after the sixth trial, and all the following trials with the plant were cancelled.

The principles of soil washing are described in chapter two, and very briefly summarised, the soil washing technique is by mechanical influence to fractionate the soil into different dimensions dependent on the size of the soil granulate. By means of screening, washing in water drums, separating in hydro cyclones or separating by screw or settlement the soil is fractionated into six different fractions of size. The large fractions (as stones, fragments, gravel and sand) are expected to be recycled to the construction industry after soil wash. The fine fractions and the organic fractions have to be either cleaned or deposited on a dumpsite. The water in the soil washing plant is recycled and should not contain any contaminants, because soil washing primarily is intended for cleaning of soil contaminated with heavy metals or fuel oil components.

All in all 3600 tonnes of soil collected from five different contaminated sites were cleaned at the soil washing plant. The type and concentration of the contaminants and the historical background for the sites were all different from each other. The collected soil types chosen, were two common fill layers from the City of Copenhagen containing heavy fuel and lead, soil from a former factory for paint and lacquer preparation, soil from a former battery factory and soil from a foundry.

An important part of the project was to make a proposal as to what kind of analyses will be necessary to pre-characterise the soil to be able to evaluate the cleaning potential of the soil to soil wash treatment. The quantity of the fine fraction appeared to have a great influence on how much of the cleaned soil, that ended up in fractions to be recycled. The best way to pre-characterise the fine fraction of the soils was determined to be by a particle size distribution combined with an analysis for the content of natural organic material.

Cleaning of 3600 tonnes of soil resulted in 680 tonnes of soil cleaned to a satisfactory level. If the cleaning of soil should be considered a success, the concentrations of the contaminants in the fractions to be recycled should be lower than the level permitted when depositing the soil at a landfill or a similar place. At the same time the part of the soil in the fractions to be recycled should be big enough to guarantee the economy in the project. In the last three trials of cleaning soil the part of the fractions to be recycled was as high as 65 %.

In the cleaning of soil containing free lead several problems arose. One serious problem showed to be due to the fact, that the free lead was separated together with the fractions of the same size as the free lead. If the plant should be able to handle this kind of contamination, it would be necessary to incorporate a unit to sort the soil according to the specific gravity. This kind of unit was not accessible at the actual plant, but it would be possible to incorporate.

Another problem by cleaning especially fill layers were the lump of slag in the soil that was separated together with the fractions to be recycled. The following analysis of the fraction of stones showed up to contain both heavy metals and tar components instead of being clean as expected. Slag is normally not a problem to reuse beneath roads or other

building projects, and the fractions to be recycled from the soil wash containing slag should also be possible to use. It is therefore necessary to change the control analyses to another type of analyses, instead of analyses for total hydrocarbon compounds or heavy metals, analyses to control the leaching from the soil would be better.

In several trials the cleaned soil ended up containing more contamination than before soil wash. This is expected to be due to the inhomogeneous distribution of contamination in the soil before cleaning compared to the very homogeneous soil after cleaning where the contamination also is more even. This has given some difficulties when evaluating the results of this project, but generally it is chosen to ignore this complication while it is estimated, that no contamination can be added to the soil from a soil wash plant.

There was no significant difference between the results by cleaning the soil for heavy metals or cleaning the soil for heavy fuel by soil wash. Both kinds of contaminants are evaluated to be very suitable for treatment in a soil washing plant.

It was tried to evaluate if any contamination has moved from the bigger (stone) fractions to the organic or fine fractions by comparing the results of the analyses before and after cleaning in the soil wash plant. While only one trial was carried through with intensive sampling it is not possible to make any clear conclusion on this hypothesis.

The consumption of resources is illustrated in chapter 4. By cleaning 3600 tonnes of soil the consumption of oil was 12.000 litres and the consumption of water was 1500 m<sup>3</sup>. This corresponds to app. 3,3-litre oil/tonne and 0,42-m<sup>3</sup> water/tonne cleaned soil with an expense on app. 25 Kr/tonne. This is evaluated to be an acceptable cost level.

In the light of the expected costs for depositing the left over fractions (fine and the organic fractions) it is estimated, that the maximum cost has to be between 300 and 500 Kr/tonne soil if it should be economical attractive to clean the soil by soil wash. K.K. Miljøteknik AS had paid the German Company Werner Frantzen 300 Kr/tonne for cleaning the soil.

In the light of the finished trials, soil wash is evaluated to be a potential relevant way to clean soil in Denmark. It is gathered though to be necessary to improve the results of the soil wash for instance by adding other kind of units to treatment of special types of contaminants.



# 1 Indledning

## 1.1 Formål

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et fuldskalaprojekt med rensning af forurenede jord i et jordvaskeanlæg. Jordvaskeanlægget var opstillet hos K.K. Miljøteknik A/S i Rødby, der havde indgået kontrakt med et tysk firma om oprensning af kraftigt forurenede jord ved jordvask. Formålet var at rense tungmetal forurenede og tjære/PAH - forurenede jord.

Formålet med projektet var

- At dokumentere, at det tyske firma Werner Frantzens jordvaskeanlæg i fuld skala var velegnet som behandlingsmetode for forurenede jord i Danmark,
- at vurdere, om jordvask er økonomisk konkurrencedygtig sammenlignet med andre rensningsteknikker for forurenede jord.
- at dokumentere teknikkenes egnethed i forhold til forskellige jordtyper, størrelsesfraktioner, forureningsstyper og -grader samt
- at udvikle en test til afprøvning af en jordtypes egnethed til at renses ved jordvask.

## 1.2 Opbygning af rapporten

Rapporten er opbygget således, at der i dette kapitel følger en beskrivelse af baggrunden for projektet. Kapitel 2 er en beskrivelse af selve jordvasketeknikken og dens enhedsoperationer, som de så ud på det fuldskala anlæg, der var opstillet i Rødby.

Kapitel 3 er et resumé af projektets resultater for rensning af både tungmetal forurenede og tjære/PAH - forurenede jord. Først beskrives de indhentede erfaringer med en alternativ sigteanalyse samt erfaringer med analyser af sten. Resultaterne følger herefter og er delt op således, at først beskrives jorden og dens forureningsgrad, og derefter beskrives resultaterne af rensningen.

I kapitel 4 beskrives overvejelser omkring miljøbelastninger, det vil sige vandforbrug, vandkvalitet af spildevand, støvproblemer, støjproblemer samt energiforbrug.

Alle ovennævnte parametre benyttes så i kapitel 5 til en konklusion af de resultater, der er opnået ved det gennemførte projekt.

## 1.3 Baggrunden for projektet

Jordvasketeknik har gennem mange år været en kendt og anvendt renseteknik for forurenede jord i specielt Holland og Belgien, hvor jordbunden typisk er meget sandet. Men også i Tyskland har man gennemført rensning på jordvaskeanlæg i en årrække.

Siden 1980'erne har danske jordrensningsfirmaer haft til hensigt at introducere teknikken i Danmark, men hidtil har man holdt sig tilbage. Det skyldes sandsynligvis de markedsmæssige forhold i Danmark, hvor markedet ikke er særlig stort, og hvor teknikken på grund af de danske jordbundsforhold med megen moræneler, synes usikker. Firmaerne har derfor valgt at satse mere på de eksisterende teknikker.

Ifølge teorien og erfaringerne bindes forurening primært til de fine partikler i f.eks. moræneler. I et jordvaskeanlæg er den primære operation, at jorden opdeles i

størrelsesfraktioner og formålet med jordvask er, at man opdeler fraktionerne således, at de grove fraktioner kan afhændes til genbrug og de fine fraktioner vil udgøre restfraktionen indeholdende den opkoncentrerede forurening. Finfraktionen vil sandsynligvis ved slutdisponering kræve specialdeponi eller rensning. Da restfraktionen er vanskelig at afvande og kan indeholde op til 50 % vand, er der risiko for, at mængden af finfraktion er så stor, at omkostningen til deponering/behandling gør teknikken økonomisk uacceptabel. Man kommer med andre ord til også at betale for deponering/rensning af restfraktionens vandindhold. Derfor er en sandet jord som udgangspunkt mere attraktiv til rensning ved jordvask, end lerjord er.

I 1999 blev der efter forhandlinger med forskellige jordrensere i hhv. Holland og Tyskland opstillet et tysk jordvaskeanlæg hos K.K. Miljøteknik A/S i Rødby, med henblik på en forsøgsrensning af jord, der lå i depot på anlægget. Et jordvaskeanlæg er sammensat af forskellige enhedsoperationer (det vil sige enkelt komponenter i vaskeprocessen), og der er ikke én bestemt sammensætning, der er den rigtige. Det valgte anlæg var ikke så raffineret som andre af de eksisterende jordvaskeanlæg, men til gengæld ville firmaet garantere K.K. Miljøteknik A/S, at de udvalgte jordtyper kunne renses. Desuden var betingelserne for lejen af anlægget væsentlig bedre end for det hollandske anlæg, og derfor blev anlægget fra Werner Frantzen valgt.

Et jordvaskeanlæg kan opbygges til oprensning af en bestemt jord-/slamtype, hvis der er erfaringer for, at en bestemt kombination af enhedsoperationer er særlig effektiv. Det tyske jordvaskeanlæg blev opsat med de enheder, som det havde fungeret i Tyskland, og det var hensigten efterhånden at opnå erfaringer med, hvilken type og kombination af enhedsoperationer, der var mest effektiv overfor danske forureninger og jordtyper. Specielt var en sigtekurve for hver jordtype inden rensningen baggrund for programmering af anlægget med hensyn til opholdstider, vandforbrug m.m.

K.K. Miljøteknik A/S lavede en aftale med det tyske firma Werner Frantzen om rensning af forurenede jord, der lå i depot på anlægget i Rødby. Aftalen gik på rensning af 10.000 ton kraftig forurenede jord ned til et på forhånd aftalt niveau. Jorden skulle ikke renses til klasse 1-niveau, men til et niveau, hvor deponering af de rensede fraktioner var mulig på almindelige deponeringsanlæg/lossepladser, hvis ikke genanvendelse var mulig.

K.K. Miljøteknik A/S og Werner Frantzen gennemførte derefter fem kørsler til rensning af jorden ved jordvask. Efter disse fem rensningsforsøg var der etableret et samarbejde med EKJ og Miljøstyrelsens Teknologipulje, hvorfor det sjette rensningsforsøg blev gennemført som første led i et Teknologi puljeprojekt med formål om at dokumentere fuld skala-oprensning ved jordvask.

På dette tidspunkt gik det tyske firma desværre konkurs, og alle yderligere planlagte rensningsprojekter måtte indstilles. K.K. Miljøteknik A/S havde efter de seks oprensninger den opfattelse, at Werner Frantzen ikke i tilstrækkeligt omfang benyttede erfaringerne fra vask af de første jordtyper til optimering af rensningen af de næste jordtyper. Samarbejdet med Werner Frantzen havde ikke fungeret optimalt, og bl.a. udleverede Werner Frantzen ikke oplysninger om, hvilke driftsbetingelser hver enkelt rensning var foregået under. Det betød, at det var vanskeligt for K.K. Miljøteknik A/S selv at opnå erfaringer med anlægget.

For at kunne vurdere effektiviteten af jordvask, er det besluttet alligevel at benytte de resultater, som K.K. Miljøteknik A/S indhentede i de første rensningsforsøg. Der er i denne rapport derfor medtaget og vurderet både resultater fra de første fem jordvaskeforsøg samt det ene forsøg, der blev udført som Teknologipuljeprojekt. Dokumentationsgraden i det sidste forsøg er selvfølgelig mere omfattende end fra de fem første forsøg, men alligevel er alle resultater inddraget i vurderingen af jordvask i et forsøg på at opnå et bedre grundlag for disse konklusioner.

# 2 Jordvaskeanlæg

I nedenstående kapitel følger en beskrivelse af det aktuelle jordvaskeanlæg, der var opstillet på K.K. Miljøtekniks anlæg i Rødby i perioden maj til oktober 1999. Selve jordvasketeknikken er tidligere beskrevet i Miljøprojekt nr. 503 "Oprensning af blandingsforurenet jord" /1/.

## 2.1 Principperne ved jordvask

Princippet i jordvask bygger, som nævnt i forrige afsnit på den antagelse, at langt den overvejende del af forureningskomponenterne er knyttet til jordpartiets fine partikler – som her defineres som partikler mindre end 0,063 mm. Rensningen af jord under vask er et resultat af principielt set to forskellige processer:

- en sortering af udgangsmaterialet i forskellige størrelsesfraktioner, og
- en mekanisk/fysisk behandling som bevirker, at forureningskomponenter fjernes fra jordpartiklerne og går over i en vandfase for efterfølgende udskilning

Ved en vellykket jordbehandling opnås, at et parti forurenet jord separeres ud i forskellige fraktioner, hvoraf nogle er rene og nogle indeholder opkoncentreret forurening. På det aktuelle anlæg blev der produceret følgende fraktioner:

- Sten, mur- og betonbrokker (større end 32 mm)
- Sten/rent grus (2-32 mm)
- Sand (0,063-2 mm)
- Organisk materialer fra settlertank (2-32 mm) og fra klassifikationsspiral (0,063-2mm)
- Fine partikler/ler/filterkage (mindre end 0,063 mm)
- Spildevand til recirkulering/afledning

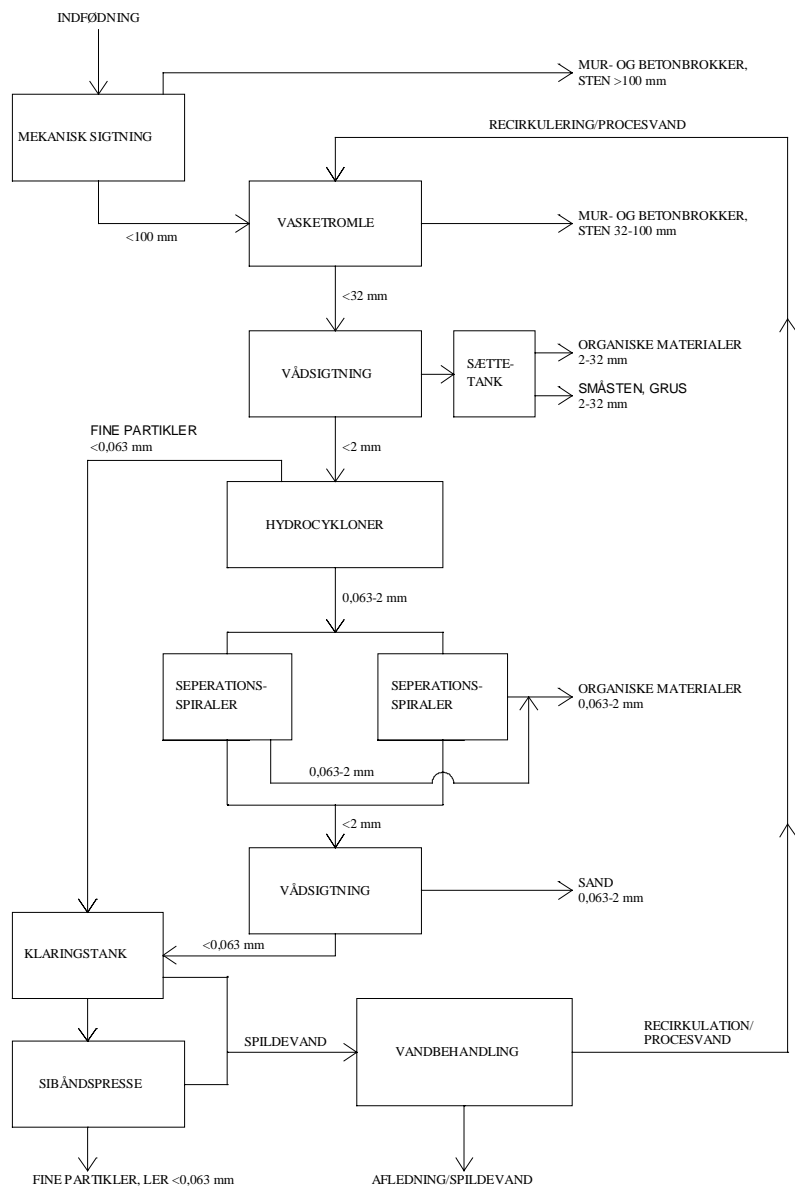
Fordelingen mellem de enkelte slutfraktioner vil være helt afhængig af udgangsmaterialet. Sten-, grus- og sandfraktionerne skal ideelt være rene, genanvendelige materialer og de organiske fraktioner og finfraktionen skal indeholde forureningskomponenterne.

Jordvask må som udgangspunkt siges at være specielt velegnet til grovere materialer såsom sandjord. Med hensyn til organiske forureninger vil det især være de tunge ikke-vandopløselige stoffer, der med fordel vil kunne behandles på et jordvaskeanlæg. Det drejer sig f.eks. om PAH'er og tjærekomponenter. Det skyldes, at prisen på biologisk behandling af disse stoffer er forholdsvis høj. Det kan af samme årsag ikke betale sig at rense lettere organiske forureninger i et jordvaskeanlæg, idet prisen på biologisk behandling er lav, og fordi de lette oliekomponenter risikerer at opløses i vandfasen og dermed "forsvinder" ud af renseprocessen. For de uorganiske forureningskomponenter vil det være oplagt at behandle tungmetal forureninger, idet oprensning af tungmetaller i dag enten er meget dyrt eller ikke mulig.

## 2.2 Procesbeskrivelse

Jordvask gennemføres i et anlæg, som er opbygget af forskellige moduler, se procesdiagram i figur 2.1.

Nedenstående gennemgang er en beskrivelse af det anlæg, som var opstillet i Rødby i 1999.



**Figur 2.1**

En oversigt over den kombination af procesenheder, der udgør jordvaskeanlægget, der i 1999 var opstillet på K.K. Miljøteknik's anlæg i Rødby

### Grovsigtning

Materialet føres efter indføddningen over en sigte, hvor materiale større end 10 cm sorteres fra. Det vil sige store sten, mur- og betonbrokker, træstykker, asfaltklumper, mm.

Materialer mindre end 10 cm falder gennem sigten for videre behandling i en roterende vasketromle, hvor jorden opslæmmes med vand, og der sker en mekanisk overfladebearbejdning af jord og sten. Efter vasketromlen sorteres sten større end 32 mm fra.

### Vådsigtning

Materialer mindre end 32 mm fra grovsigtningen underkastes en vådsigtning for at udskille småsten og groft grus (2-32 mm) fra sand- og ler- partikler.

2-32 mm fraktionen behandles efterfølgende i en sættetank for at udskille den organiske fraktion.

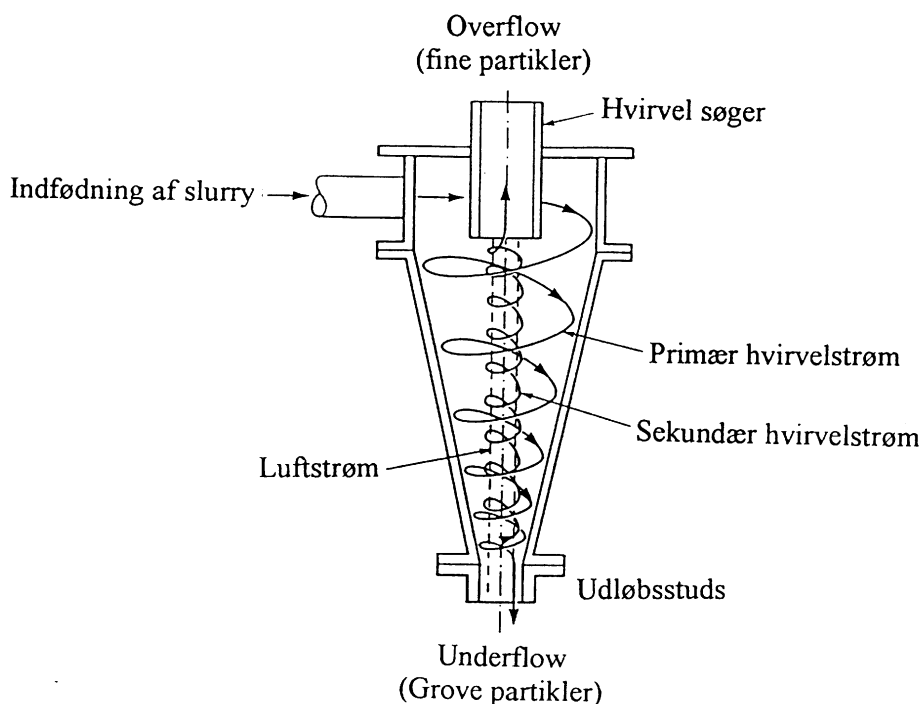
### Vask i hydrocykloner

Partikler mindre end 2 mm (ler og sand) fra vådsigtningen rummer langt den største mængde af forureningen, og det er denne fraktion, der arbejdes videre med.

Behandlingens centrale separationsproces sker i hydrocyklonen, hvor jord/vandblandingen (slurryen) under stadig bevægelse sikrer stor kontakt mellem vand og partikeloverflader. I hydrocyklonerne sker der samtidig en opdeling i sand og ler/siltpartikler. Princippet i en hydrocyklon er, at slurryen indføres øverst i en kegleformet cylinder, samtidig med en luftstrøm blæses ind nederst i keglens spids. Derved sikres det, at de grove partikler - sand (0.063 mm-2 mm) falder igennem hydrocyklonens bund og de fine partikler < 0,063 mm (ler) følger med vandstrømmen ovenud af keglen. Princippet i en hydro cyklon ses i figur 1.

### Figur 2.2

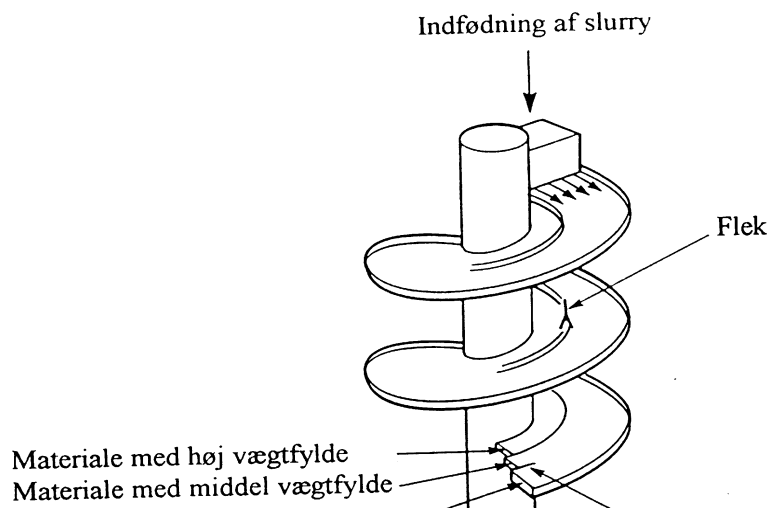
Princippet ved hydrocykloner hentet fra /2/.



### Separationsspiraler

Efterfølgende behandles slurryen med fraktionen 0,063-2 mm på separationsspiraler.

Princippet i spiralerne er, at materialet/slurryen sendes ind øverst på spiralerne, hvorved det ved bevægelse ned ad spiralerne opdeles i en tung fraktion - sandet (inderst på spiralen) og en organisk fraktion (yderst på spiralen) - se figur 2.3.



**Figur 2.3**

Princippet ved en separationspiral hentet fra /2/

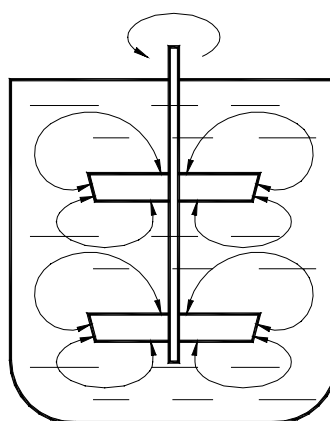
Der findes 2 sæt af spiraler på anlægget som har forskellig hældning på spiralen. Dermed kan man variere hvilke fraktionsstørrelser, der sorteres på spiralerne.

*Efterklaring*

Den udskilte partikelfraktion (< 0,063 mm) behandles i en klaringstank, hvor der tilføres et flokkuleringsmiddel og partikulært materiale bundfældes. Vandet recirkuleres i anlægget, mens bundfaldet fra klaringstanken behandles på en sibåndspresse. Produktet fra sibåndspresen - filterkagen - udgør den relativt forurenede restfraktion.

*Attritionsskrubber*

Til anlægget var knyttet en attritionsskrubber. Det er en mekanisk enhed, der bearbejder sandfraktionen (0,063-2 mm) ved skrubning og som ifølge teorien skulle medføre forbedret renseeffektivitet. Attritionsskrubberen er noget mere strømforbrugende end de øvrige enhedsoperationer i anlægget, og kan samtidig medføre en forøget mængde af finmateriale som følge af den hårde, fysiske behandling af jorden. Attritionsskrubberen var ikke i drift ved forsøgskørslerne i Rødby, men det var planen, at den efterfølgende skulle have været koblet på.



**Figur 2.4**

Princippet ved en skrubbetank med rotorblade, der skrubber jorden. Figuren er hentet fra /3/.

### *Spildevandsrensning*

Der var ingen spildevandsrensning til anlægget og i princippet er processen samlet set vandforbrugende. Vand, som ikke blev forbrugt under processen, blev recirkuleret ved de seks forsøgskørsler, der blev gennemført, og det var ikke planen at udskifte vandet, selv om der var blevet gennemført flere rensningsforsøg. Da anlægget i Rødby blev demonteret, stod der 15 m<sup>3</sup> vand i anlægget, som efterfølgende blev ledt over det i forvejen etablerede renseanlæg i Rødby og derfra via pumpekanal til Østersøen.

# 3 Resultater

## 3.1 Indledning

Der blev på anlægget i Rødby forsøgsrenset jord i perioden maj til september 1999. De indledende forsøg blev gennemført af K.K. Miljøteknik A/S, og efterfølgende blev EKJ og Miljøstyrelsens Teknologipulje involveret i forsøgene. De indledende forsøg var ikke omfattet af Teknologi puljeprojektet, og der eksisterer derfor ikke så mange kemiske analyser af jorden, som der gør fra det sidste forsøg. Teknologi puljeprojektet blev afbrudt, da det tyske firma Werner Frantzen gik konkurs. Alligevel er resultaterne af de indledende rensningsforsøg medtaget i denne rapport for at opnå et bedre og mere nuanceret billede af resultaterne på jordvaskeanlægget.

I forsøget med rensning af jord under Teknologipuljen blev muligheden for fraktionering af jordprøver inden rensning (Ind-prøver) overvejet. Dette var med baggrund i ønsket om at afklare, hvorvidt den fysiske påvirkning ved jordvask medførte, at forureningen blev mobiliseret og dermed flyttet fra store partikler til små partikler, eller om der ved jordvask udelukkende er tale om en størrelsesfraktionering/-sortering af jorden.

Analyseresultaterne er behandlet og præsenteret på to forskellige måder i det efterfølgende og i bilagene. Det første resultat angiver den koncentration, som laboratoriet har konstateret ved analyserne altså i mg/kg jord TS (tørstof). Det andet resultat angiver koncentrationen i forhold til størrelsen af fraktionen. For eksempel måles 200 mg bly/kg i finfraktion af laboratoriet. Men hvis finfraktionens størrelse er 40%, så kan indholdet af bly vægtes i forhold til fraktionens størrelse til  $(200 \text{ mg/kg} \cdot 0,40) 80 \text{ mg/kg}$  jord. Dermed vil den "sande" koncentration i den samlede jord kunne findes ved at lægge koncentrationerne af de vægtede koncentrationer fra de enkelte fraktioner sammen.

## 3.2 Forsøgsjord

I nedenstående skema ses de forsøgsrensede jordtyper og deres karakteristika er kort angivet.

### **Tabel 3.1:**

Oversigt over behandlede jordtyper på jordvaskeanlæg i Rødby. Jord nr. 5 og 6 er den samme, men kun de 50 tons som jord nr. 6 blev kørt under Teknologipuljeprojektet.

Nr.	Oprindelse	Tons jord rensat	Forureningskomponenter
1	Fyldjord fra København	895	Kulbrinter, bly
2	Tidligere akkumulatorfabrik	1140	Kulbrinter, bly
3	Jord med farve/lakaffald	264	Kulbrinter, bly
4	Støberi	378	Bly, kobber
5	Industribelastet fyldjord fra	243	Kulbrinter, bly,
6	København	50	kobber, zink

Nr.	Hovedbeskrivelse	Øvrige	Finfraktion
1	Fint til mellemkornet sand	Sv. Gruset, sv. siltet/leret, ringe sorteret	15 %
2	Fint til grovkornet sand	St. gruset, st. siltet, usorteret	20 %
3	Fint til grovkornet sand	Gruset, siltet/leret, usorteret	14 %
4	Fint til mellemkornet sand	St. gruset, st. siltet/leret, usorteret	18 %
5			
6	Fint til mellemkornet sand	Gruset, st. siltet/leret, usorteret	28 - 30 %

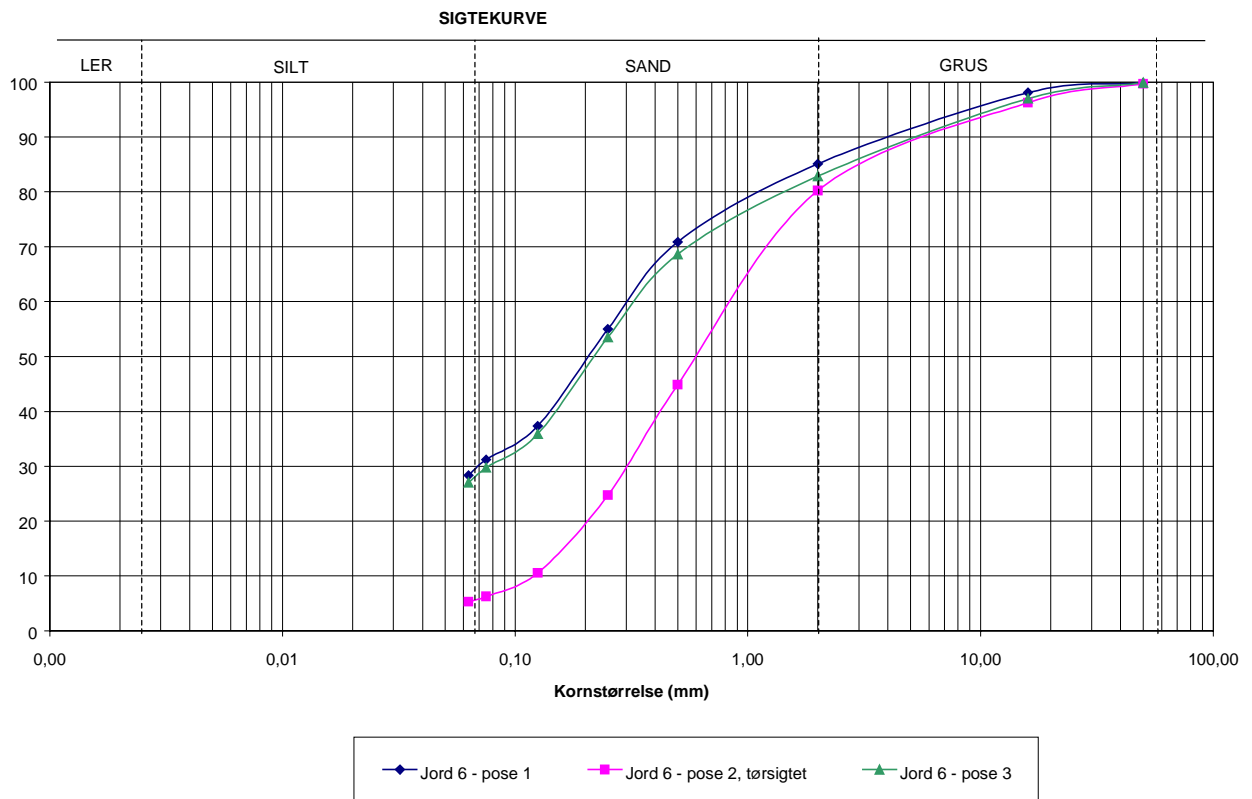


### 3.2.1 Sigteanalyser på jord 6

På alle jordtyper er der inden behandling bestemt kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse (kornkurver). For Jordtype 6, der blev kørt som Teknologipuljeprojekt, blev der udført 3 kornkurvebestemmelser af jorden inden rensning på jordvaskeanlægget. De to af kornkurverne blev udført efter Dansk Standard 405.9, hvor fraktionen  $< 0,063$  mm vaskes ud af jorden. Den tredje kornkurve blev forsøgsvis udført som en tørsigtning af hele prøven, idet der var usikkerhed om, hvorvidt vådsigtning påvirkede forureningskomponenternes binding til partikelfraktionerne og derved flyttede forureningskomponenterne fra de fraktioner, hvor de naturligt var bundet. De tre kornkurver kan ses i nedenstående figur 3.1.

**Figur 3.1**

Figuren viser de tre kornkurver, hvoraf to er udført på traditionel vis ved vådsigtning og den tredje er udført som tørsigtning.

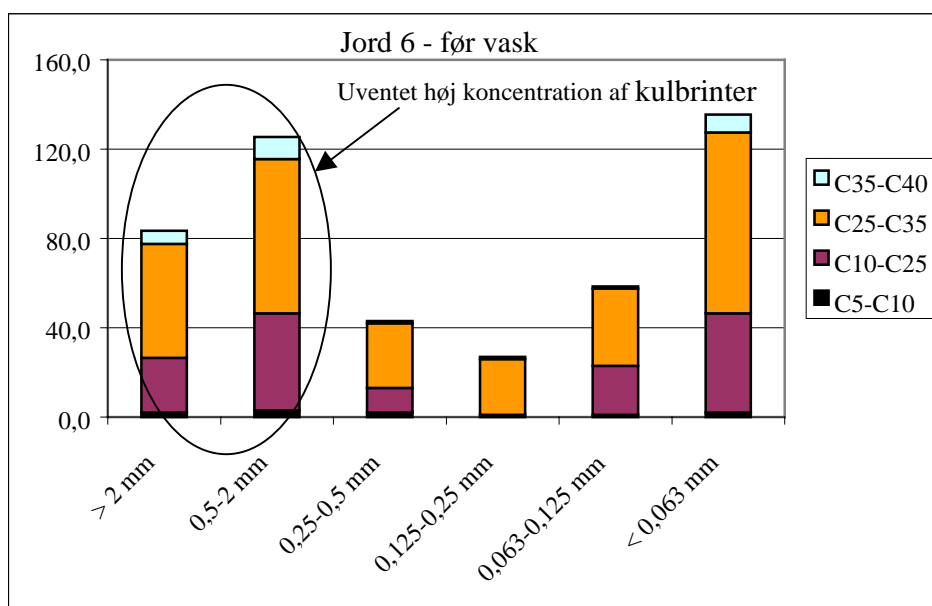
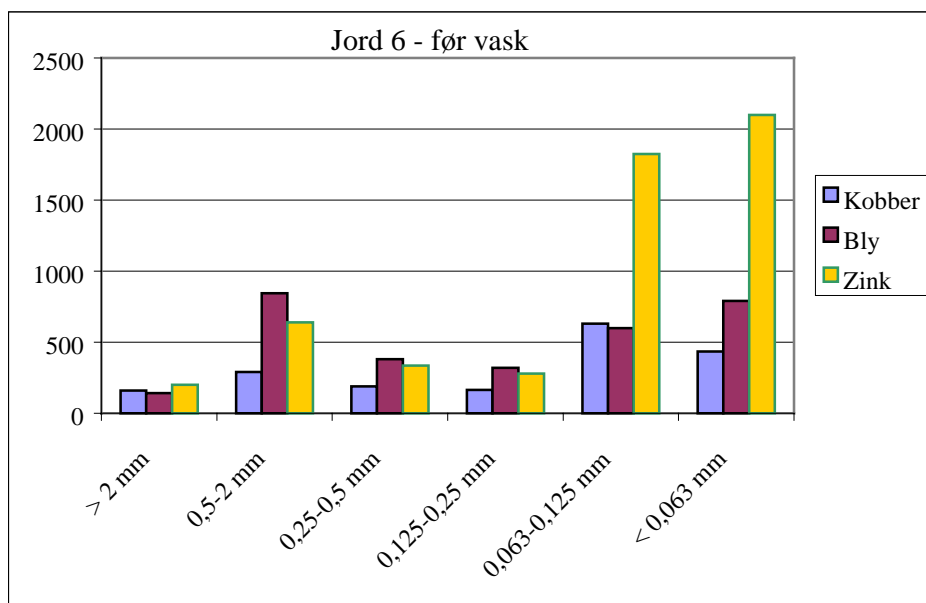


Som illustreret i figur 3.1 er jorden i pose 2 fremkommet efter en tørsigtning, og af figuren fremgår det, at en tørsigtning ikke giver samme fraktionering af prøven som vådsigtning. Det skyldes, at en del af finfraktionen ikke er udskilt fra de grovere fraktioner, og dermed vil analyserne af prøverne fejlagtigt give et forhøjet indhold af forureningskomponenter i de grovere fraktioner. Sammenholdt med risikoen for, at vådsigtning er en minivask og derfor medfører, at forureningen flytter sig, vurderes det alligevel mest korrekt at vælge en vådsigtning, hvis man skal fraktionere jorden inden vask i anlægget. Den fysiske påvirkning af jorden ved vådsigtning vurderes at være væsentlig mindre i forhold til en jordvask.

Efter fraktionering af jorden blev der fra alle tre sigteforsøg udtaget prøver til kemisk analyse, kaldet Ind-prøver fra Jord 6. Fra de øvrige fem jordtyper er Ind-prøverne en prøve af jorden inden fraktionering, hvilket altså svarer til en normal jordprøve med alle fraktioner inkluderet. Analyser af prøverne ses i bilag A. Nedenstående figur illustrerer fordelingen af forureningskomponenter på de forskellige fraktioner inden, at jorden behandles i jordvaskeanlægget. Kun prøverne fra pose 1 og 3 er benyttet til denne illustration, idet pose 2 vurderedes ikke at være anvendelig på grund af ovenstående nævnte fraktionering.

**Figur 3.2**

Fordelingen af hhv. tungmetaller og kulbrinter på de forskellige fraktioner i Ind-prøverne. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.



Ved fraktionering som følge af vådsigtning skal man være opmærksom på, at man ikke som i en jordvaske-proces får separeret de organiske fraktioner fra de uorganiske fraktioner. Dermed indeholder både store og små fraktioner organisk materiale. Dette formodes at være årsagen til, at fraktionen 0,5-2 mm har et forholdsvist højt indhold af kulbrinter og den samme tendens kan anes for tungmetallerne.

### 3.3 Resultater af jordrensning

Efter jorden havde været gennem jordvaskeanlægget, blev der udtaget prøver af hver fraktion:

- Stenfraktion (32-100 mm)
- Sten/grusfraktion (2-32 mm)
- Organisk materiale (2-32 mm)
- Sandfraktion (0,063-2 mm)
- Organisk materiale (0,063-2 mm)
- Finfraktion (< 0,063 mm)

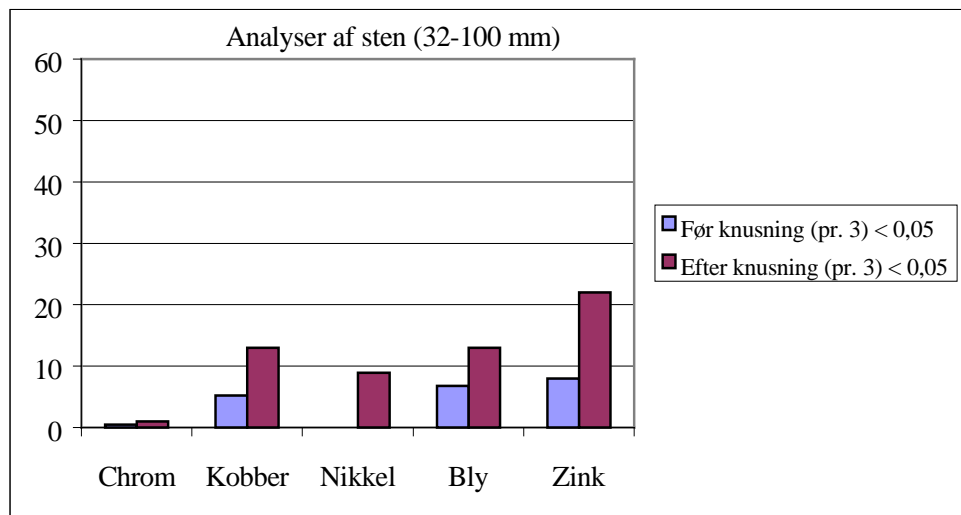
I bilag A ses en oversigt over samtlige analyseresultater af rensed jord. For Jord 6 er der konsekvent udtaget 3 prøver af hver fraktion, og der er derfor også angivet et gennemsnit af resultaterne. For de andre jordtyper er der også udtaget flere prøver, så også her er gennemsnitsresultater angivet.

### 3.3.1 Analyser af stenfraktionen, 32-100 mm

Analyser af de store sten viste sig at være lidt problematisk, idet laboratoriet ikke umiddelbart havde nemt ved at analysere så store sten. Laboratoriet blev under Teknologi puljeprojektet anmodet om, at 1 prøve blev analyseret inden knusning, således at man kunne vurdere risikoen for udvaskning af de vaskede materialer. Derefter blev prøven sendt til knusning sammen med de øvrige stenprøver således, at man får oplysninger om stenenes totale indhold af forureningskomponenter. Resultaterne af analyserne af stenene før og efter knusning ses i nedenstående figur. Der er kun konstateret indhold af tungmetaller, mens indholdet for både kulbrintefraktioner og PAH'er lå under detektionsgrænsen.

**Figur 3.3**

Fordelingen af tungmetaller i stenfraktionen (32-100 mm) før og efter stenprøven er knust. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.



Man kan tydeligt se, at indholdet af tungmetaller i prøven analyseret før knusning er markant lavere, end når stenene er knust. Der må altså sidde tungmetal på/i stenene, som ikke umiddelbart er tilgængeligt. Hvis det totale indhold af forureningskomponenter i prøven skal bestemmes, skal indholdet før knusning lægges til indholdet efter knusning og forskellen på de to fremgangsmåder ved analysen er derfor endnu større, end den ses på figuren.

Ved en jordvaske-proces må man formode, at alt afvaskelig forurening bliver fjernet. Derfor vil risikoen for udvaskning, hvis stenene genbruges i et bygge- eller anlægsprojekt, formodentlig være meget begrænset. Det vurderes på den baggrund, at hvis man skal vurdere mulighederne for, at stenfraktionen kan genanvendes, vil det give et langt mere reelt billede af genanvendeligheden, hvis man får lavet en analyse uden knusning af stenene fremfor den traditionelle form, hvor man laver en totalanalyse af de knuste sten. Alternativt kunne man anvende udvaskningstests.

### 3.3.2 Resultater af rensning af de 6 jordtyper

Programmering af jordvaskeanlægget var det tyske firma Werner Frantzens opgave og foregik primært på baggrund af sigtekurven for den pågældende jordtype. På trods af forsøg fra K.K. Miljøteknik A/S på at få udleveret driftsbetingelser, lykkedes det ikke. Det vides derfor ikke, hvordan anlæggets indstillinger blev ændret mellem hver jordrensning.

I nedenstående figurer er gengivet resultaterne af rensning på de seks jordtyper. Jord 5 og Jord 6 er som tidligere beskrevet den samme jord, men vil i beskrivelsen af rensningens effektivitet blive beskrevet i separate afsnit. Teknologi puljeprojektet for Jord 6 er refereret først på grund af det bedre datagrundlag. Først herefter er de øvrige resultater præsenteret. Tungmetaller er for hver jordtype af pladshensyn gengivet i samme figur. For kulbrinter er indholdet angivet som stolpediagrammer, hvor de enkelte stolper er delt op i mindre dele, som hver repræsenterer en kulbrintefraktion. Figurene gengiver de koncentrationer, man får ved direkte analyse af jorden, og for hver jordtype vurderes jordvaskens effektivitet.

I bilag A-F ses for hver jordtype det samlede sæt analyseresultater samt kornkurver af jorden inden rensning.

#### 3.3.2.1 Rensning af Jord 6

Jord 6 er en fyldjord fra København med ca. 28-30 % finfraktion. Forsøgsrensningen blev udført under Teknologipuljen, hvor udtagningen af prøver var intensiv ved rensning af ca. 50 ton jord. Der blev gennemført et omfattende analyseprogram for både Ind- og Udprøver. I nedenstående tabel er vist de gennemsnitlige koncentrationer bestemt på råjorden inden rensning.

**Tabel 3.2**

Indhold af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i Ind-prøverne til jordvaskeanlægget for Jord 6. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.

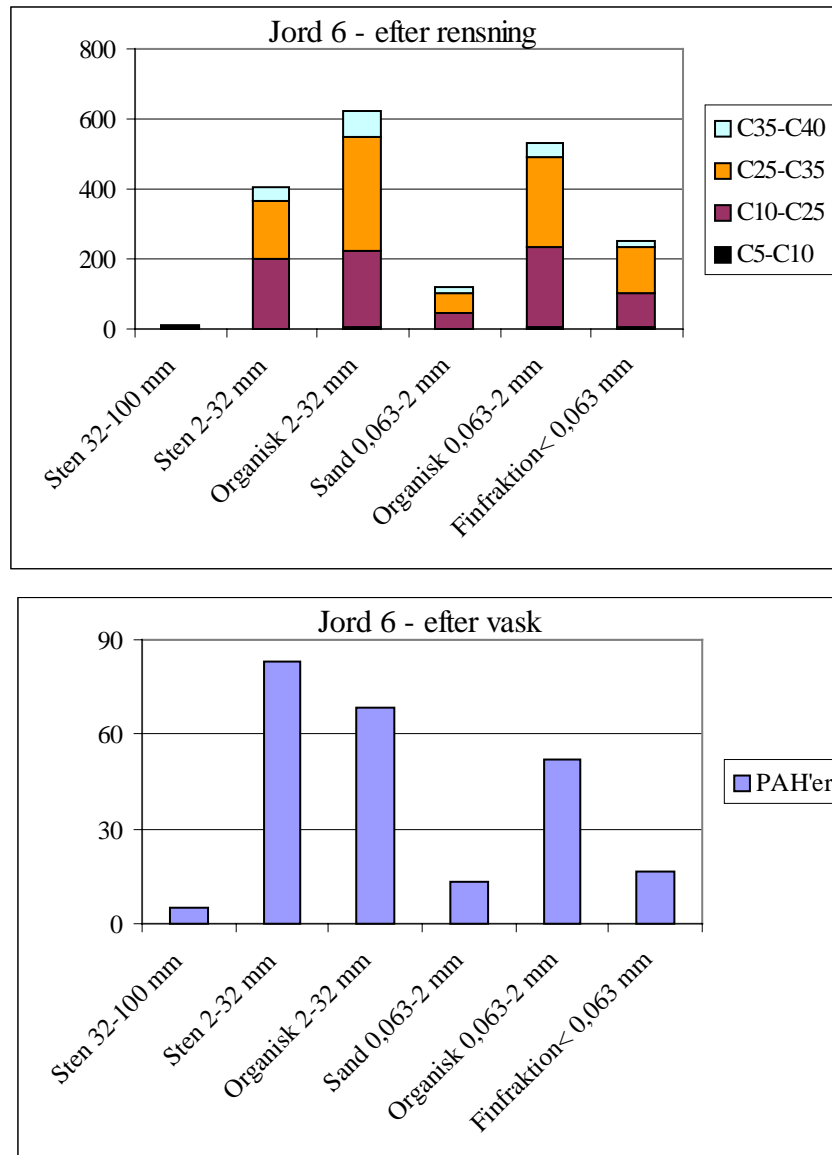
Jord 6	Tot.kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	PAH'er
Gennemsnit	99	< 5	38	57	< 25	17
Jord 6	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Bly	Zink
Gennemsnit	1,6	28	335	16	615	705

På trods af, at der er tale om den samme jord som Jord 5, er der væsentligt lavere indhold af tungmetallerne kobber og bly, end der er konstateret ved Jord 5. Dette skyldes sandsynligvis, at forureningen er meget inhomogent fordelt i jorden. Ved evalueringen af resultaterne for rensningseffekten, vil der kun blive vurderet i forhold til de prøver, der er udtaget fra det aktuelt rensede jordparti, og altså ikke blive kigget på indanalyserne af Jord 5 ved vurderingen af Jord 6.

Resultaterne af jordrensning ses i nedenstående figur 3.4, og resultaterne er et gennemsnit af de tre prøver, der blev udtaget fra hver fraktion. Kun forureningskomponenter på forhøjede koncentrationsniveauer, i forhold til Miljøstyrelsens kvalitetskriterier, er medtaget i figurene og altså ikke alle de analyserede parametre. Det komplette analyseprogram ses i bilag A.

**Figur 3.4**

Fordeelingen af hhv. organiske komponenter og PAH'er i de seks fraktioner efter jordvask. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.



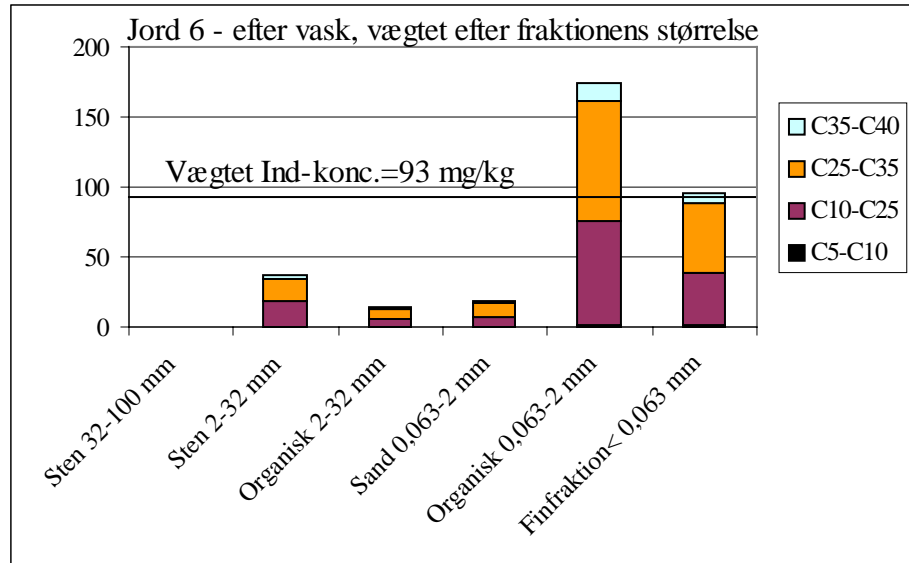
Indholdet af kulbrinter efter rensningen viser, at forureningsniveauet var højere end før rensning. Det vurderes at skyldes jordens inhomogenitet, og at jorden efter rensning havde en mere homogen struktur, og prøverne er derfor mere repræsentative for jordpartiet.

Indholdet af PAH'er i stenfraktionen er noget højere, end man skulle forvente. Da fraktionen blev nærmere undersøgt, viste det sig, at der var asfaltklumper blandet i stenene, og dette vil naturligt vise et højt indhold af PAH'er ved en kemisk analyse. Indholdet af PAH'er i form af asfaltklumper vil være mindre problematisk i forbindelse med genanvendelsesproblematikken, idet materialet til genanvendelse i givet fald skal benyttes f.eks. som man benytter slagge eller stabilgrus under belægninger.

I forvejen formodes udvaskningen af PAH'er at være begrænset, og analysen til vurdering af egnetheden ved genanvendelse, bør derfor revurderes som beskrevet i afsnit 3.3.1.

**Figur 3.5**

Fordelingen af kulbrinterne i de seks fraktioner, når indholdet vægtes i forhold til fraktionens størrelse. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.

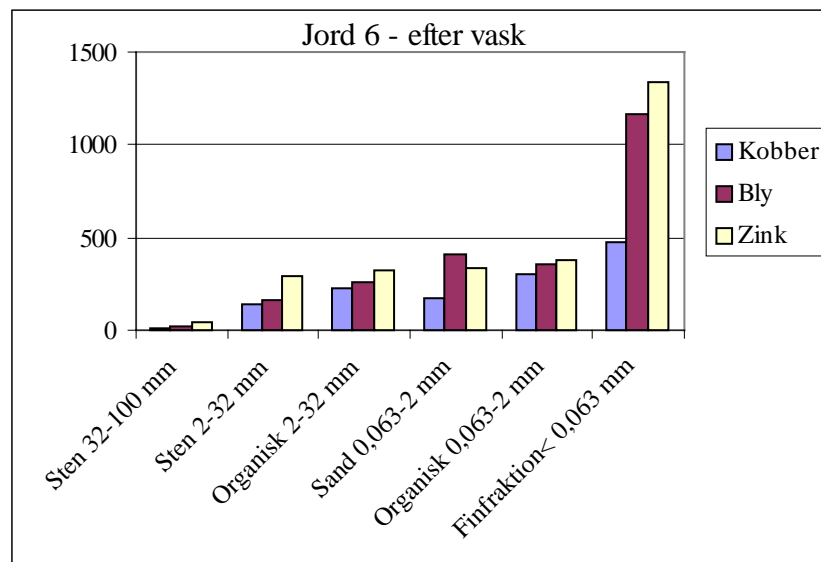


I figur 3.5 er indholdet af kulbrinter vist, når fraktionens størrelse tages i betragtning. Samtidig er vist den vægtede Indkoncentration af det samlede kulbrinteindhold. Det ses, at den overvejende del af forureningen findes i den finere organiske fraktion (0,063-2 mm). Den organiske fraktion (0,063-2 mm) udgør 32,8 % af jordpartiet efter vask, og med de målte koncentrationer findes dermed ca. 50 % af forureningen i denne fraktion og knap 30 % i finfraktionen. Sammenlignet med den vægtede koncentration inden vask, er der genfundet ca. 3½ gang mere efter rensning, end der var i jorden før rensning.

I figur 3.6 ses illustreret indholdet af tungmetaller i Jord 6 efter vask, når der ikke tages hensyn til fraktionens størrelse.

**Figur 3.6**

Fordelingen af tungmetallerne kobber, bly og zink i de seks fraktioner efter jordvask. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS og resultaterne kan ses i bilag A.



Resultatet af rensningen var som vist i figur 3.5 acceptabel, idet ca. 80 % af kulbrinteforureningen efter rensning, findes i finfraktionen og i den fine organiske fraktion. Samtidig var rensningen for tungmetaller jf. figur 3.6 også god, idet specielt bly og kobber blev opkoncentreret i finfraktionen, men også for zink sås en mindre opkoncentrering.

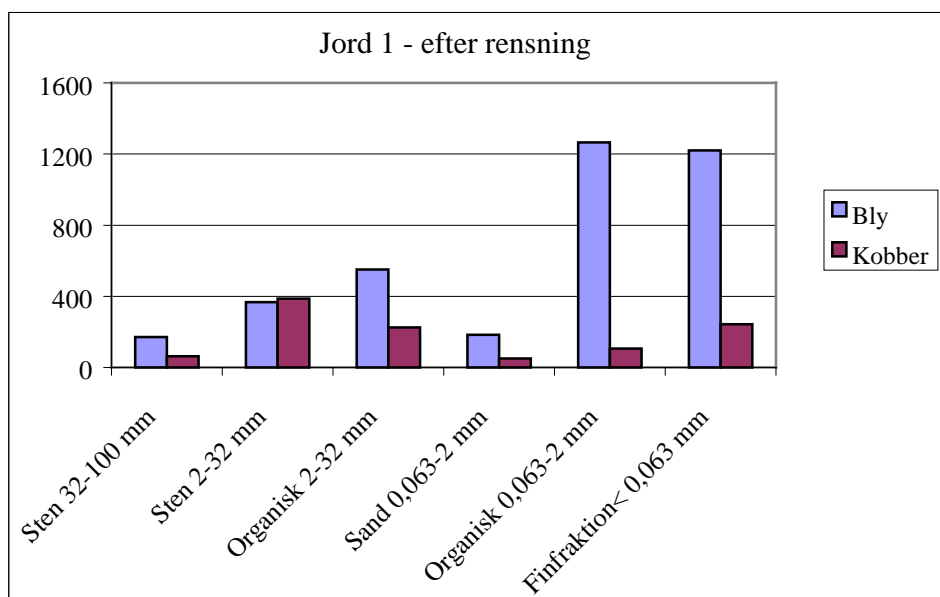
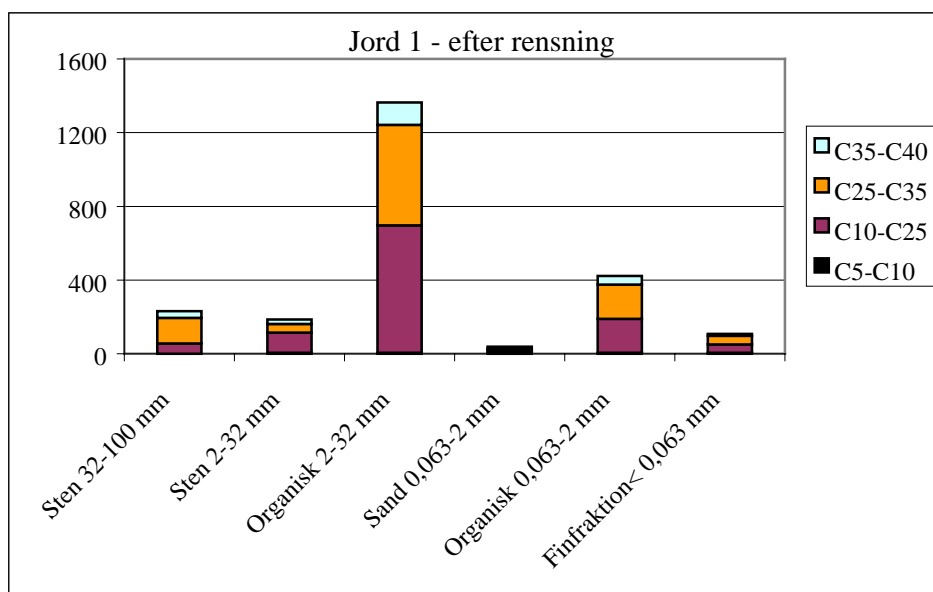
Det høje indhold af organisk og uorganisk finfraktion i jorden inden vask (ca. 30 %) medførte, at indholdet af de genbrugelige sten- og sandfraktioner efter vask kun var på 27 % af den mængde jord, der var ført ind i anlægget. Resten fandtes som organiske fraktioner og uorganisk finfraktion. Den genanvendelige del af jordpartiet var derved begrænset, og derfor vurderes jorden alligevel ikke, at være særlig velegnet til rensning ved jordvask.

### 3.3.2.2 Rensning af Jord 1

“Jord 1” er blandet fyldjord fra København med et indhold på 15 % finfraktion. Koncentrationen af kulbrinter er inden rensning målt til 115 mg/kg, indholdet af bly til 370 mg/kg og indholdet af kobber til 113 mg/kg. Resultatet er et gennemsnit af 3 prøver, og prøverne repræsenterer knap 900 ton jord.

**Figur 3.7**

Fordelelsen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i de seks forskellige fraktioner jord efter jordvask er gennemført. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Af resultaterne ses, at der sker en opkoncentrering af kulbrinter i de organiske fraktioner og ligeledes af bly i den organiske fraktion (0,063-2 mm), samt i den fine fraktion (< 0,063 mm). Kobber er ikke opkoncentreret på samme vis, idet den højeste koncentration af

kobber findes i stenfraktionen. Indholdet er dog under de 500 mg/kg, som er kriteriet i Miljøstyrelsens Vejledning /4/ for jord ved følsom arealanvendelse.

Sand- og stenfraktionerne efter vask udgør over 65 % af jord-volumet. Koncentrationsniveauerne af forureningskomponenter i de genanvendelige fraktioner i Jord 1 er på trods af opkoncentreringen ikke helt tilfredsstillende, idet indholdet af bly i stenfraktionen er tæt ved 400 mg/kg og indholdet af kulbrinter er tæt ved 200 mg/kg, hvilket er i overkanten af det acceptable. I sandfraktionen er indholdet af bly på 183 mg/kg, hvilket også er lige i overkanten, hvis sandet skal kunne genanvendes i bygge- og anlægsprojekter. Rensning af Jord 1 ved jordvask er derfor ikke helt tilfredsstillende, men baggrunden for dette kan ikke umiddelbart forklares af de data, der er til rådighed. Hvis problemet ved rensning af jord 1 skulle findes i slagger, så ville man forvente, at også indholdet af kulbrinter ville være væsentlig højere. Problemet må derfor være indhold af bly enten som frit metal eller bly adsorberet til sten- og sandfraktionen.

### 3.3.2.3 Rensning af Jord 2

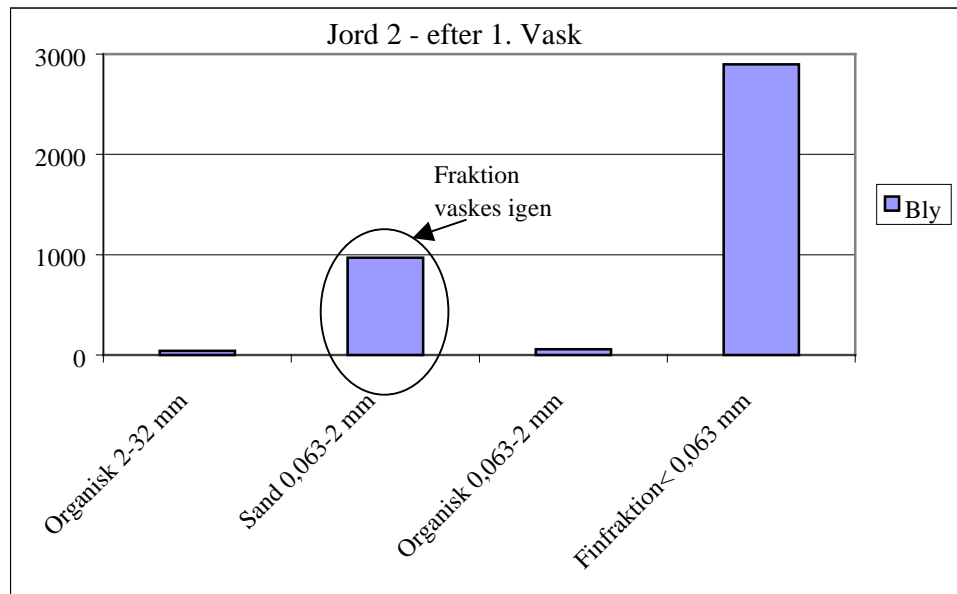
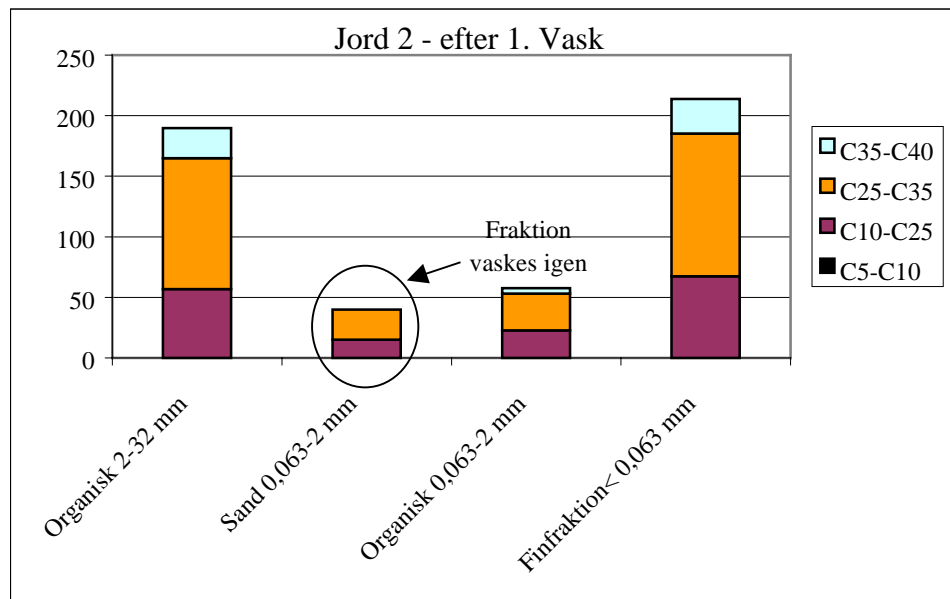
Jord 2 stammer fra en akkumulatorfabrik, men har også karakter af fyldjord. Indholdet af finfraktion er bestemt til ca. 20 % før rensning. Koncentrationen af total kulbrinter er bestemt til 295 mg/kg og indholdet af bly til 1700 mg/kg, som et gennemsnit af 2 jordprøver, repræsenterende ca. 1140 ton jord.

Der blev ikke udtaget prøver til analyse af sten- og grusfraktionen, så i nedenstående figur ses kun indholdet i de finere fraktioner.



**Figur 3.8**

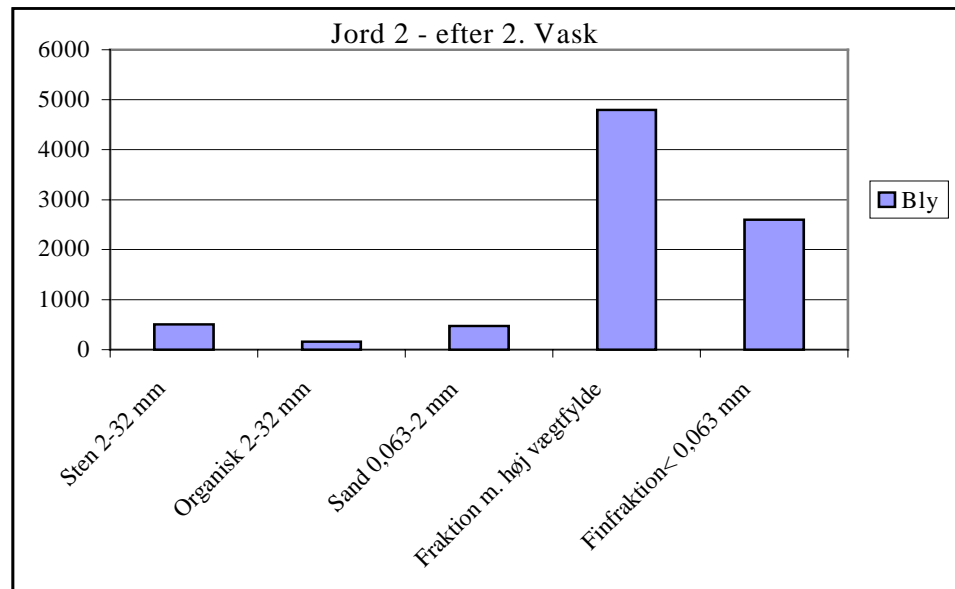
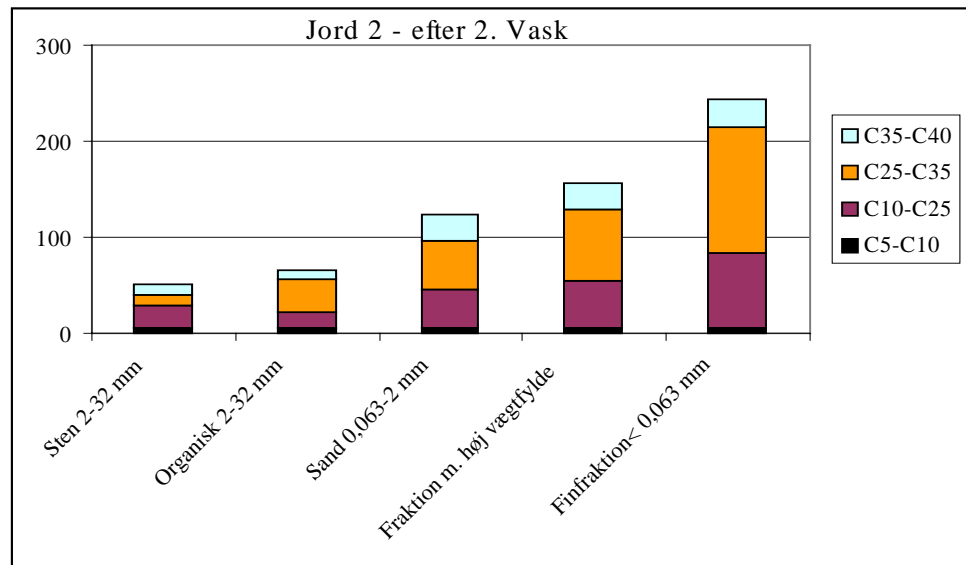
Fordelingen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i de finere fraktioner jord efter første jordvask er gennemført. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Resultaterne af jordvasken var, som det ses i figur 3.8, ikke tilfredsstillende. Efter første vask svarer grus- og sandfraktionen til omtrent halvdelen af den jord, der blev ført ind i anlægget. Det blev besluttet at gennemføre endnu en vask af sten- og sandfraktionen. Stenfraktionen er nødvendig, for at få en god opslæmning af materialet i vasketromlen. Da det kun er sten- og sandfraktionen der vaskes, er finfraktionen og organiske fraktioner allerede udskilt fra materialet. Da der imidlertid blev fundet rene blyklumper i nogle af fraktionerne efter første vask, justeredes anlægget med henblik på, at fjerne materiale med høj vægtfylde. Det andet sæt klassifikationsspiraler, der sorterer materiale med høj vægtfylde fra sandfraktionen, blev derfor taget i anvendelse. Den ”organiske” fraktion 0,063-2 mm er derfor efter anden vask en fraktion, der indeholder materiale med høj vægtfylde som f.eks. ren bly jf. figur 3.9.

**Figur 3.9**

Fordelingen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i de fem fraktioner jord efter jordvask er gennemført. Den "organiske" fraktion består efter denne vask af sand indeholdende frit bly. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Efter 2. vask findes hovedparten af bly i de ønskede fraktioner. Hovedparten findes i fraktionen med høj vægtfylde (0,063-2 mm), som udgør 28 % af den jordmængde, der vaskes anden gang, samt i finfraktionen (< 0,063 mm), der udgør ca. 17 % af den jordmængde, der vaskes anden gang. Der findes i begge fraktioner en del sand.

Isoleret set udgør de genanvendelige fraktioner, efter anden vask ca. 55 % af det tilførte materiale, men set i sammenhæng med første vask, udgør de genanvendelige fraktioner kun ca. en fjerdedel af den oprindeligt tilførte jordmængde. Dermed bliver behandlingsmetoden, jordvask ikke velegnet, idet 75 % af jorden skal deponeres eller renses.

En generel erfaring fra dette forsøg er, at metallisk materiale er vanskeligt at håndtere i et jordvaskeanlæg, hvilket bekræftedes af den tyske operatør på anlægget. Metallisk materiale bliver i første vask, stort set kun sorteret efter størrelse og ender dermed i den fraktion, som metallet størrelsesmæssigt tilhører. I anden vask sorteres på vægtfylde og generelt kræver vægtfyldesortering, at der er stor vægtfylddeforskel (>2x) på de materialer, der skal adskilles. Når man i dette anlæg skal adskille sand i et stort størrelsesinterval (0,063-2 mm)

fra bly i samme størrelsesinterval, vil der således komme en del af de større sandpartikler ud, sammen med de mindste blypartikler, hvorved der fås store affaldsfraktioner.

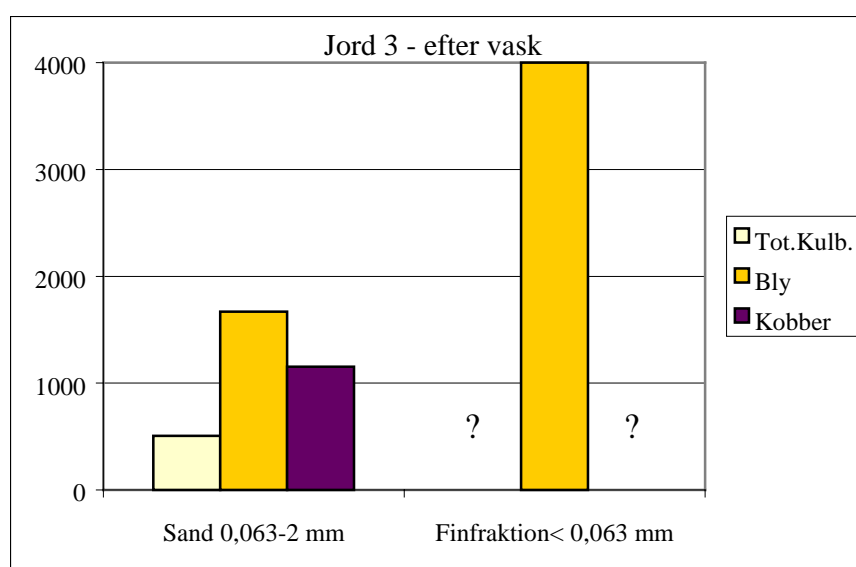
#### 3.3.2.4 Rensning af Jord 3

Jord 3 stammer fra en grund forurenet med malerslam, og indholdet af finfraktion er før vask bestemt til ca. 14 %. Koncentrationen af total kulbrinter er bestemt til 440 mg/kg, og indholdet af bly er som gennemsnit bestemt til ca. 500 mg/kg, men flere prøver viser indhold på op til 1300 mg/kg. Koncentrationen af kobber var gennemsnitligt på 6400 mg/kg. Der blev behandlet i alt 264 ton jord.

Der blev kun udtaget prøver til kemisk analyse af sand- og finfraktionen, hvorfor alle resultater er samlet i nedenstående figur 3.10.

#### Figur 3.10

Fordelingen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i sand- og finfraktionen efter jordvask er gennemført. I finfraktionen er dog kun analyseret for bly. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Sten- og sandfraktionen udgjorde i denne jord mere end 55 % af den mængde jord, der var ført ind i anlægget. Derved skulle jorden være meget velegnet til jordvask. Resultaterne før vask indikerer, at der er tale om en meget inhomogen jord med blyindhold mellem 49 og 1300 mg/kg. Efter rensning er indholdet af både kulbrinter, bly og kobber højere end det acceptable niveau for rensed jord, og der er stadig meget stor inhomogenitet i bly- og kobberanalyserne, se bilag D. Der ses dog en kraftig opkoncentrering af bly i finfraktionen (dog på baggrund af 1 kemisk analyse), hvilket kunne indikere, at der er flyttet forurening fra de store fraktioner over i de små fraktioner.

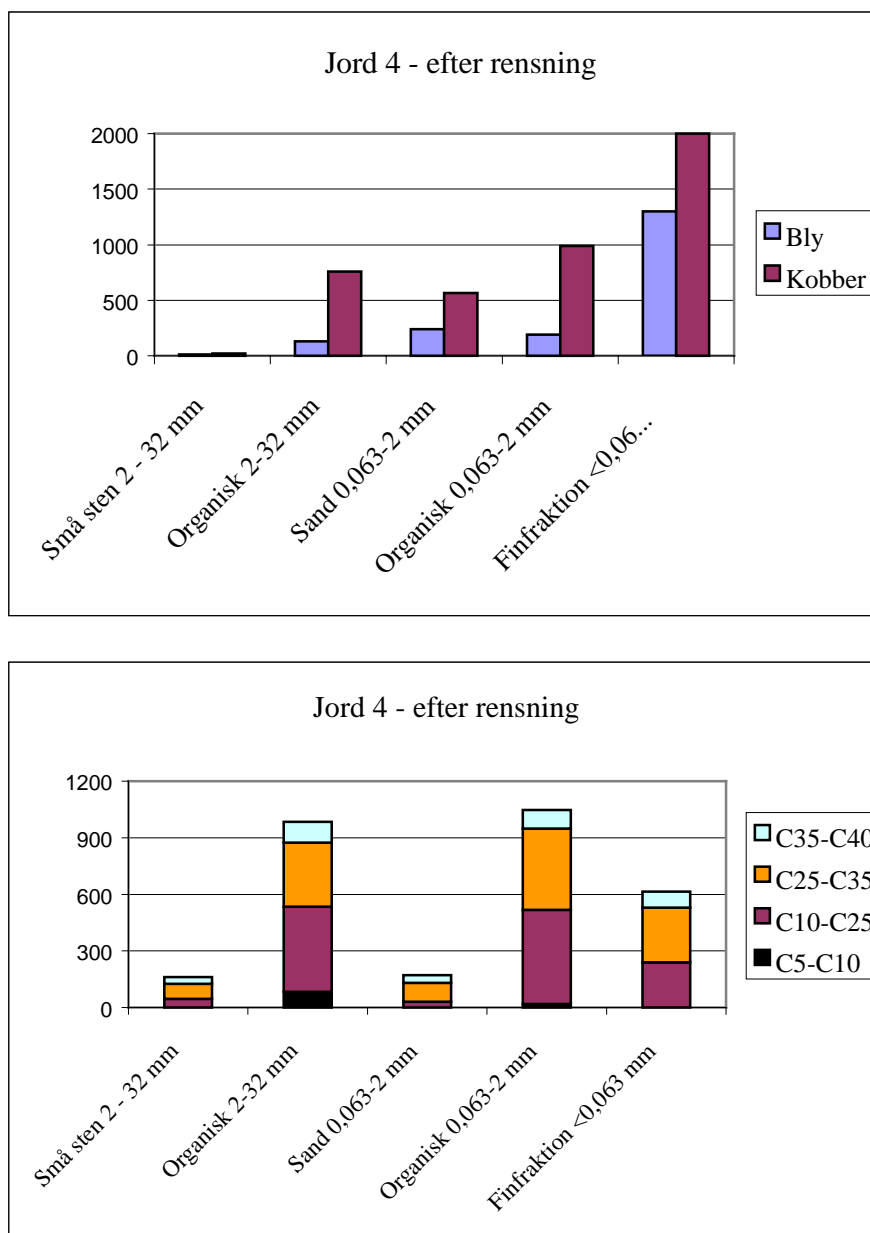
Det vurderes, at årsagen til de forholdsvis dårlige resultater med jordvask af denne jord kan skyldes stor inhomogenitet i fordelingen af forureningen i jordmatrixen. Derved vil store klumper af forurening ikke få den ekstra tid i f.eks. anlæggets vasketromle, som der kunne være brug for, hvis det skal sikres, at alle forureningsklumper findeles og fordeles til de rette fraktioner.

#### 3.3.2.5 Rensning af Jord 4

Jorden stammer fra en støberigrund, og indholdet af finfraktion blev bestemt til ca. 18 %. Indholdet af kulbrinter er bestemt til knap 400 mg/kg, indholdet af bly til ca. 1300 mg/kg og indholdet af kobber til ca. 1000 mg/kg. Der blev rensed ca. 380 ton jord.

**Figur 3.11**

Fordelingen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i de analyserede fraktioner efter jordvask er gennemført. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Rensningen af jorden for kulbrinter var meget tilfredsstillende, idet forureningen efter rensning fandtes opkoncentreret i de organiske fraktioner samt finfraktionen. Rensningen for bly og kobber var også tilfredsstillende, idet samme opkoncentrering fandt sted. Sten- og sandfraktionen udgjorde efter rensningen 66 % af den indførte mængde, det vil sige, at kun 34 % af jorden skulle deponeres eller renses efterfølgende. Jord 4 blev altså rensset ved jordvask med et tilfredsstillende resultat.

De gode resultater med rensning af Jord 4 kan ikke entydigt forklares i forhold til Jord 1 til 3, men resultaterne af de to kemiske analyser udtaget af jorden inden rensning er på samme niveau, hvilket kan have forårsaget den bedre rensning. Sigtekurver og driftsforhold i forhold til de øvrige jordtyper er ikke væsentligt forskellige.

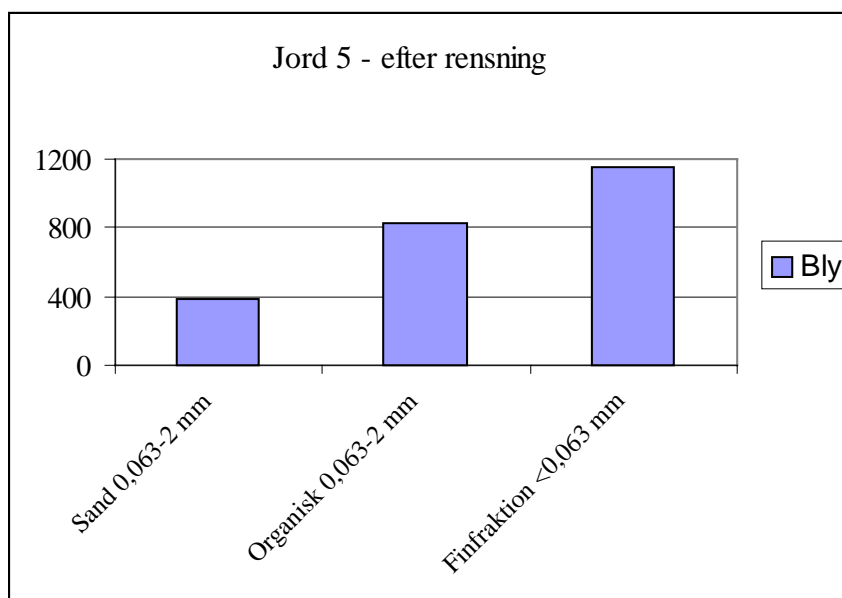
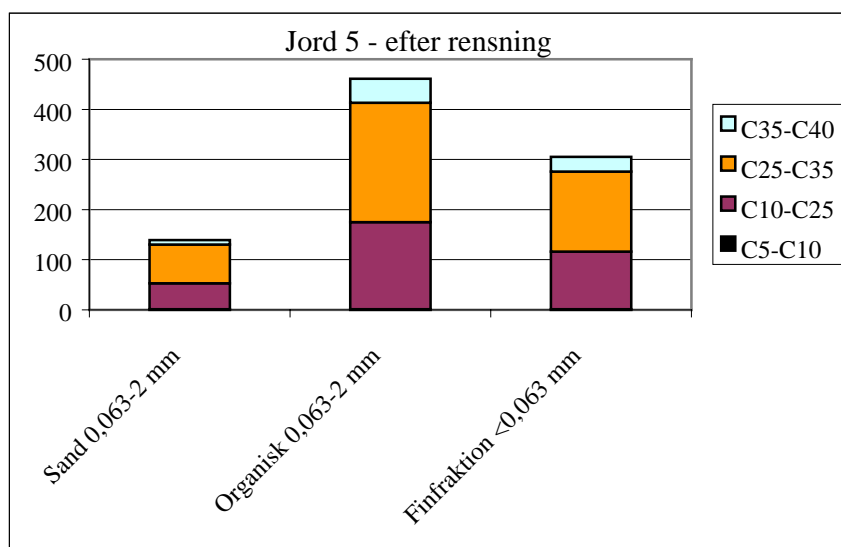
### 3.3.2.6 Rensning af Jord 5

Forureningens oprindelse er ukendt, men jorden er en almindelig fyldjord fra København sandsynligvis også forurenet, som følge af industrielle aktiviteter. Finfraktionen udgør ca. 30 % af den samlede jordmængde. Jord 5 og Jord 6 er som tidligere beskrevet den samme jord, men vil i beskrivelsen af rensningens effektivitet blive beskrevet i separate afsnit. Der blev rensset ca. 250 ton jord. Der var i jorden forinden konstateret ca. 210 mg kulbrinter/kg, 1300 mg bly/kg og ca. 1500 mg kobber/kg.

Der blev kun udtaget prøver af sandfraktionen og den organiske samt finfraktionen, og der blev ikke analyseret for kobber. Resultaterne af analyserne ses i nedenstående figur 3.12.

**Figur 3.12**

Fordelelsen af hhv. organiske komponenter og tungmetaller i de tre analyserede fraktioner jord efter jordvask er gennemført. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.



Indholdet af kulbrinter var på baggrund af en kemisk analyse før vask, bestemt til 210 mg/kg. Der er kun analyseret på sandfraktionen og på de to fine fraktioner efter vask, og her ses en opkoncentrering af kulbrinter i de to fine fraktioner. I sandfraktionen er indholdet 140 mg/kg, og på det forholdsvis spinkle grundlag vurderes det, at rensningen for kulbrinter var acceptabel. Indholdet af bly var før rensning i jordprøver bestemt til gennemsnitlig 1300 mg/kg, svingende mellem 890 til 2200 mg/kg. Indholdet er altså mindre efter

rensning, men det formodes at skyldes jordens inhomogenitet, idet der ikke er mulighed for ophobning i anlægget. På baggrund af at indholdet af bly i sandfraktionen gennemsnitlig er under 400 mg/kg, dvs. at jorden vil kunne deponeres på almindelig fyldplads, så vurderes rensningsresultatet at være acceptabelt.

### 3.3.2.7 Sammenfatning af rensningsresultater

Rensning af de seks jordtyper forløb med meget vekslende succes. Kun 680 ton af de i alt 3600 ton rensed jord blev rensed til så lavt et koncentrationsniveau, at rensningen kunne siges at være tilfredsstillende. Samtidig var det dog de sidste 3 jordtyper, som gav de bedste resultater, så det kan ikke udelukkes, at erfaring med danske jordtyper kan give bedre resultater.

For tre ud af de seks jordtyper lykkedes det at få en affaldsmængde (det vil sige finfraktion + organiske fraktioner) på ca. 35 %, i et tilfælde på ca. 58 % og i de to sidste tilfælde på ca. 75 %. For højt indhold af finfraktion (Jord 2 samt 5/6) viste tydeligt at have en uheldig indflydelse på mængden af affald efter jordvask. Det var i disse tre forsøg, at de største affaldsmængder fremkom. Der var ikke nogen betydelig forskel på hovedbeskrivelserne af de seks jordtyper, jf. tabel 3.1.

For Jord 2 var der desuden et problem med indhold af metallisk bly, hvilket anlægget ikke var bygget til at frasortere. Hvis anlægget skulle håndtere denne form for forureninger, skulle der nødvendigvis indbygges en sortering efter vægtfylde på anlægget, så metallisk bly ikke frasorteres sammen med grus og småsten.

Der viste sig ofte mere forurening totalt set i Ud-prøverne end i Ind-prøverne. De forskellige koncentrationsniveauer formodes, at skyldes inhomogen fordeling af forureningen i jorden inden jordvask, hvilket også normalt kan volde problemer ved oprydninger. Som hovedregel er det i nærværende rapport antaget, at koncentrationerne i Ud-prøverne er det mest korrekte koncentrationsniveau. Det skyldes både, at der ikke kan tilføres forurening til jorden, mens den er i anlægget samt, at der er meget større overensstemmelse mellem resultaterne af de tre Ud-prøver end der er mellem Ind-prøverne i Jord 6. Det er på baggrund af ovenstående svært at vurdere effektiviteten af jordvask.

Der viser sig ingen markant forskel på rensning af tungmetaller og på rensning af tunge kulbrinter. Begge stofgrupper vurderes på den baggrund, at være lige velegnede til jordvask.

### 3.3.3 Flytning af forurening mellem fraktionerne

Et af formålene med at analysere på jordens fraktioner inden rensning af Jord 6 var at undersøge, om forurening blev flyttet mellem fraktionerne eller, om der ved jordvask udelukkende forekom en størrelsesfraktionering af jorden. I nedenstående figur er fordelingen af det totale kulbrinteindhold illustreret. For at illustrere flytningen mellem fraktionerne, er anvendt de vægtede analyseresultater således, at koncentrationen viser indholdet af forurening pr. kg jord, og ikke, som tidligere indhold af forurening pr. kg fraktion. Idet man ved sigtning af Ind-prøverne ikke kan adskille organisk materiale fra uorganisk materiale, er resultaterne i figur 3.12 samlet for tre fraktioner:

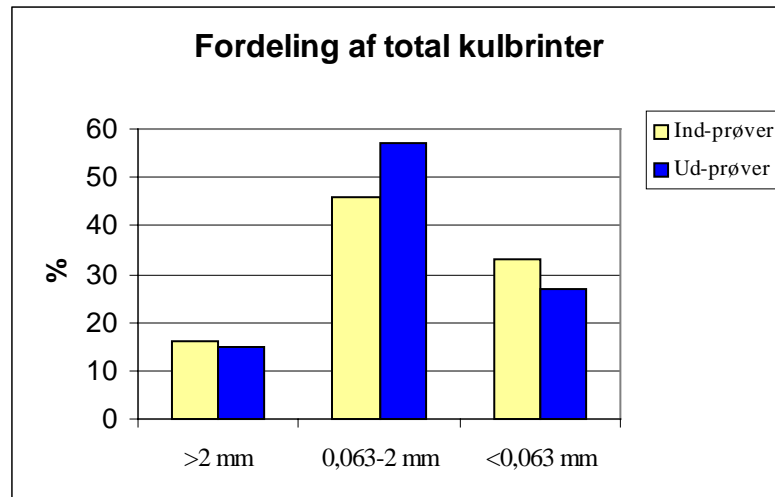
- > 2 mm
- 0,063-2 mm
- < 0,063 mm

#### Kulbrinter

Massebalancen for kulbrinter viste, at der var 3-4 gange mere kulbrinte-forurening efter rensning end før rensning og det er derfor valgt at vise fordelingen procentvis. Det antages derved, at Indresultaterne, på trods af det lavere forureningsniveau illustrerer en realistisk fordeling af kulbrinter i mellem fraktionerne, men der er i princippet intet egentlig belæg for denne antagelse.

**Figur 3.13**

Den procentvise fordelingen af total kulbrinter i fraktioner før og efter jordvask.



Som det fremgår af figur 3.13, er niveauet af total kulbrinter før og efter jordvask nogenlunde det samme i de enkelte fraktioner. Det tyder således ikke på, at der er sket en væsentlig flytning af den organiske forurening fra de grovere fraktioner til de finere fraktioner.

Idet Ind-prøverne, som tidligere nævnt, ikke kunne opdeles i organiske og uorganiske fraktioner, har det ikke været muligt at belyse, om forureningen er flyttet fra de uorganiske fraktioner til de organiske fraktioner.

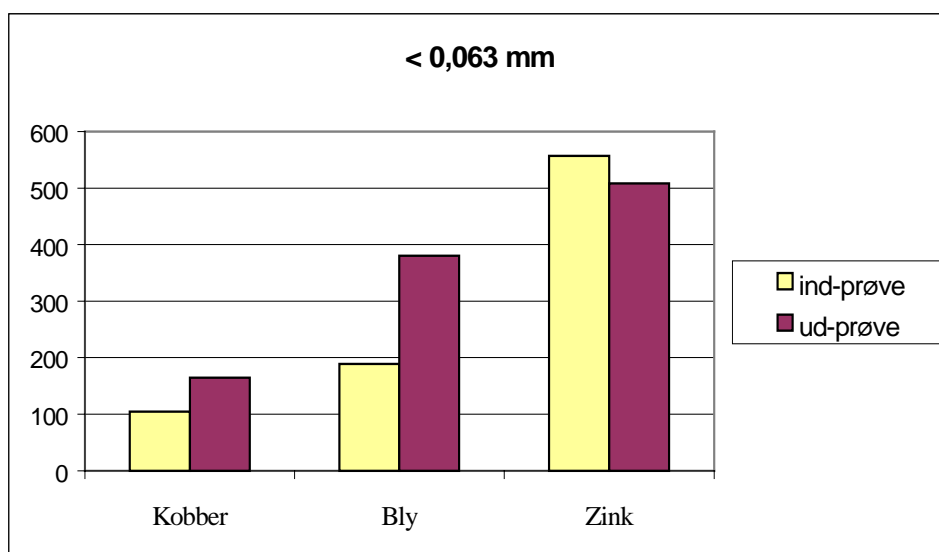
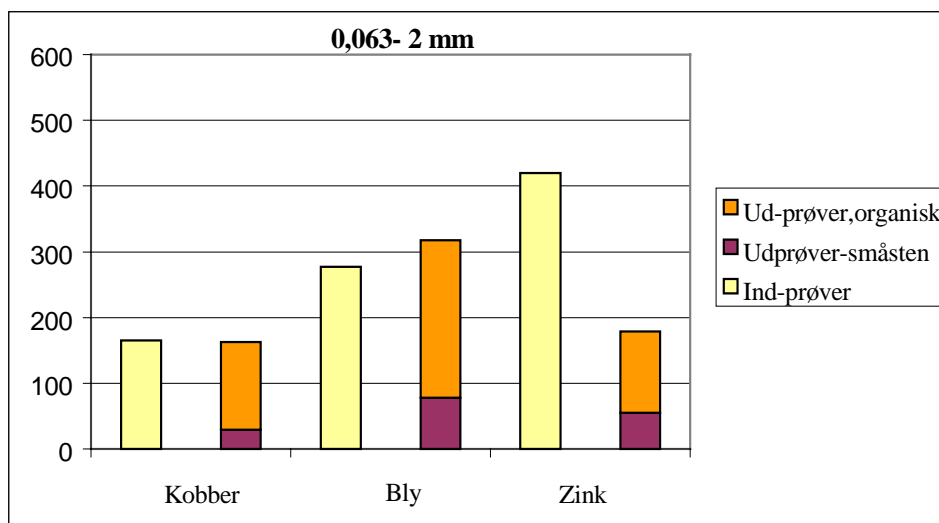
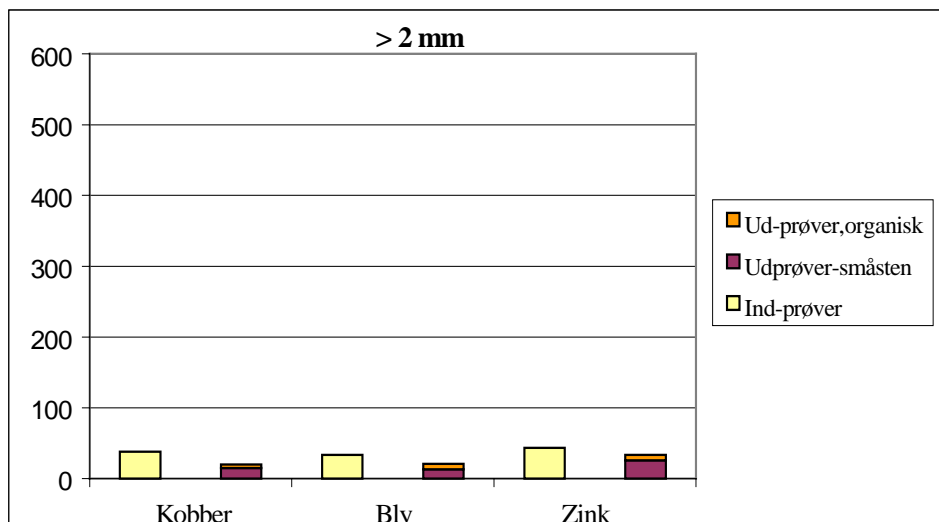
#### Tungmetaller

I nedenstående figurer ses resultaterne for tungmetaller illustreret. Massebalancen for tungmetaller viste, at der var nogenlunde overensstemmelse i forureningsniveauet mellem Ind- og Ud-prøver. For at illustrere flytningen mellem fraktionerne er igen anvendt de vægtede analyseresultater. Idet man ved sigtning af Ind-prøverne ikke kan adskille organisk fra uorganisk materiale, er resultaterne ligeledes i denne figur samlet for tre fraktioner

I figur 3.14 ses en svag tendens til, at der er mere kobber og bly i den fine fraktion efter vask, end der var før vask. Tendensen følges dog ikke for zink. På baggrund af kun dette ene forsøg skal det derfor ikke forsøges at udlede nogen klar konklusion på, om der flyttes tungmetallforurening mellem fraktionerne.

**Figur 3.14**

Fordeelingen af tungmetallerne kobber, bly og zink i tre fraktioner efter jordvask sammenlignet med indholdet før jordvask. Koncentrationer er angivet i mg/kg TS.





### 3.3.4 Analyse til vurdering af egnethed til jordvask

Et af de sekundære formål med projektet var at udvikle en metode til test af jordens egnethed til jordvask. Det er ikke muligt på foreliggende grundlag, at drage endelige konklusioner om testmetoden, på grund af den afkortede projektperiode. Men af de, i nærværende rapport refererede, resultater ses det, at udover at jordens indhold af finfraktion ( $< 0,063$  mm) har stor betydning, så har indholdet af naturligt organisk materiale også indflydelse på restfraktionens størrelse. Det vurderes derfor, at en sigteanalyse, suppleret med en analyse for organisk indhold, vil være et skridt på vejen til at vurdere jordens egnethed til vask.

Jordens indhold af organisk materiale bestemmes ved enten en analyse for glødetab eller en TOC-analyse. Begge analyser har dog den ulempe, at et evt. indhold af olie/tjæreprodukter vil fremstå som naturligt organisk indhold på analyseblanketten. Man må derfor forestille sig, at der vil være behov for samtidigt at gennemføre en GC-FID analyse, til bestemmelse af forureningskoncentrationen og trække denne koncentration fra det totale indholdet af organisk materiale i prøven.

# 4 Ressourceforbrug

Ved drift af et jordvaskeanlæg vil der være et vist ressourceforbrug, som bør tages med i overvejelserne om rensningsmetodens egnethed. I tabel 4.1 ses en oversigt over forbruget ved rensning af de 3600 tons jord, som blev rensset på anlægget i hele forsøgsperioden. Det skal bemærkes, at da noget af jord 2 blev rensset 2 gange, svarer de 3600 tons jord rensset på anlægget ikke til den opgørelse, der ses i tabel 3.1.

**Tabel 4.1**

Oversigt over ressourceforbrug til drift af jordvaskeanlæg ved behandling af 3600 ton jord.

Antal tons jord	Antal driftstimer	Vandforbrug	Olieforbrug
3600 tons	60 dage * 8 timer/dag	1500 m <sup>3</sup>	12.000 liter
<b>Omregnet til</b>			
Pr. ton	Ikke relevant	0,42 m <sup>3</sup> / ton	3,33 liter/ton
Pr. time	7,5 tons / time	3,1 m <sup>3</sup> / time	25 liter/time

Antallet af driftstimer pr. dag er skønnet til 8 timer/dag, og på den baggrund behandles der i anlægget 7,5 tons jord pr. time. Dette vurderes at være en acceptabel kapacitet på baggrund af, at man i projektets planlægning regnede med en kapacitet på ca. 10 ton/time.

Til drift af de mekaniske dele blev opstillet en generator. Generatorens olieforbrug var i hele driftsperioden på 12.000 liter, hvilket giver et forbrug på 3,33 liter olie/ton rensset jord. Dette synes af forholdsvis meget, specielt da man hertil skal lægge energiforbruget til transport og forsortering af jorden. Olieforbruget skal dog holdes op imod, at man på anlægget renser kraftig forurenede jord for både tungmetaller og tunge olie-/tjærekomponenter, hvilket er problematisk at rense med andre metoder i dag. Det skal også medtages i vurderingen, at ca. 50 % af jorden (de store fraktioner) gerne skal kunne genanvendes i bygge- og anlægsprojekter

Der har samlet været et vandforbrug på 1500 m<sup>3</sup>, og fordelt på den 3600 ton jord svarer det til ca. 420 liter/ton rensset jord. Det synes af forholdsvis meget, men vandet blev kun afledt til rensning, idet anlægget skulle nedtages og der ikke skulle renses mere jord i Rødby. Hvis anlægget var blevet stående og havde rensset alt den planlagte jord, skulle det vand, der allerede var i anlægget, have været recirkuleret med kun en mindre indtag af rent vand svarende til spild.

Der blev rensset i alt 3600 ton jord og dertil forbrugt 12.000 liter olie og 1500 m<sup>3</sup> vand. Det svarer til et forbrug på 0,42 m<sup>3</sup> vand og 3,3 l olie pr. rensset ton jord. Ressourceudgift hertil er ca. 25 kr./ton. Ressourceforbruget vurderes på den baggrund, at være meget begrænset, selv om hertil skal lægges transport og håndtering af jord.

Støv og støj var generelt ikke noget problem, idet anlægget var opstillet på K.K. Miljøtekniks anlæg i Rødby, hvor der er langt til de nærmeste naboer. Støv vurderes sjældent at ville give problemer udover ved tilkørsel af jord til anlægget. I den resterende del af tiden er jorden i kontakt med vand og vil ikke forårsage støvgener.

Støj kan blive et problem, idet generatoren til at drive anlægget laver en del støj. Generatoren kan dog f.eks. placeres i en isoleret container og dermed dæmpes væsentligt. Det øvrige anlæg er placeret i containere og forårsager derfor ikke støj i det eksterne miljø.

## 4.1 Sammenligning med prisen for deponering

Hvis man skal lave en økonomisk sammenligning med andre rensningsmetoder, er det for tiden mest realistisk at sammenligne med prisen for deponering af jorden i klasse 4 depot. Prisen for deponering af en typisk tjære eller tungmetalforurenede jord i klasse 4 depot har

hidtil ligget på mellem 1000 og 1500 kr./ton. I nedenstående beregninger er benyttet 1100 kr./ton som sammenligningsgrundlag.

For at opstille funktionen for beregning af prisen for deponering sammenholdt med prisen for jordvask opstilles følgende ligning:

$$\text{Pris depot kl. 4} = \text{Pris vask} + \text{mængde rent} * \text{pris rent} + \text{mængde affald} * \text{pris affald}$$

Mængden af ren jord svarer til mængden af genanvendelige materialer. Mængden af affald svarer til mængden af finfraktion. Følgende indhold af tørstof kan udledes af de gennemførte forsøg, samt pris for afhænding af de genanvendelige materialer, som evt. afhændes til deponering på fyldpladser, idet kravene til ren jord sjældent kan overholdes:

Tørstofindhold i affald (finfraktion)	=	70 %
Tørstofindhold i ren jord (genanvendelige materialer)	=	90 %
Pris for deponering af jord på fyldplads (max. kl. 3)	=	65 kr/ton

Eksempel på beregning ved 30 % affald:

$$\text{Pris kl.4 depot} = \text{Pris vask} + 70 \% * (1/0,9) * 65 + 30 \% * (1/0,7) * \text{Pris kl.4 depot}$$

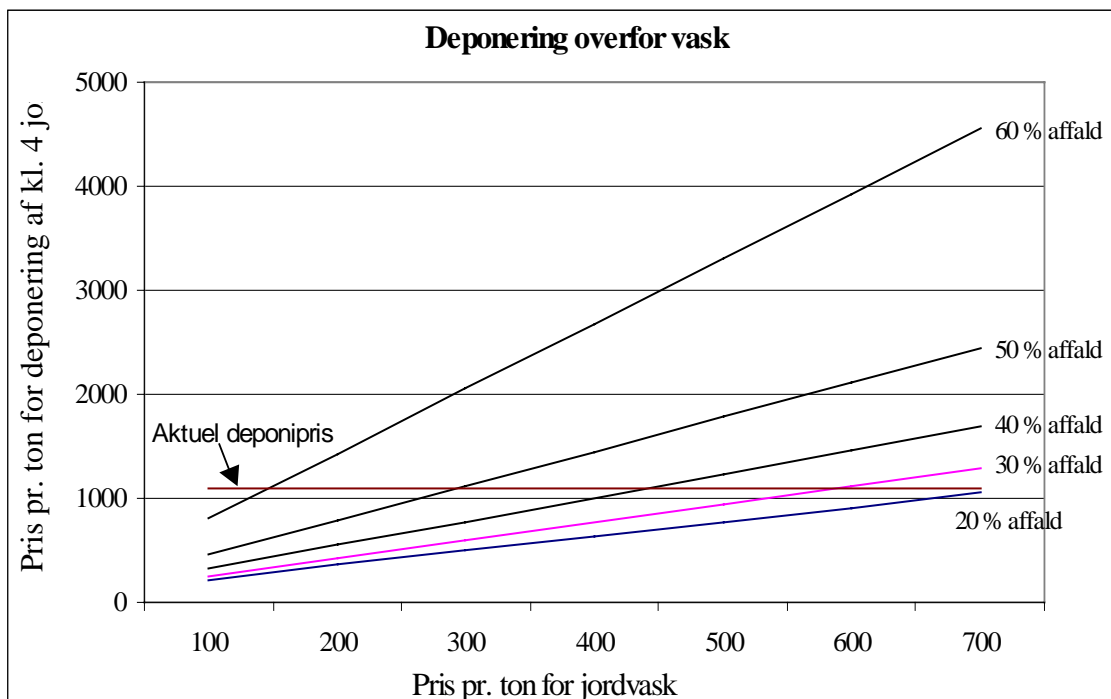
↓

$$\text{Pris kl.4 depot} = 1,72 * \text{Pris vask} + 86,3$$

Denne funktion afbildes i en figur med vaskeprisen ud af X-aksen og deponeringsprisen for klasse 4 jord op af Y-aksen. Figuren illustrerer, at hvis en given jord vaskes, og der genereres 30 % finfraktion, så skal prisen for jordvask være mindre end 600 kr./ton for at være konkurrencedygtig overfor prisen for deponering af jorden. Eller sagt på en anden måde, at hvis det koster 400 kr./ton at vaske jord, så må det ikke resultere i mere end 40 % finfraktion, fordi så kan det bedre betale sig at deponere jorden.

**Figur 4.1**

Pris for deponering af klasse 4 jord sammenholdt med prisen for vask af jorden.



Genereringen af finfraktion ved de 6 forsøg har i gennemsnit ligget på ca. 50 %, og i de bedste tilfælde på omkring 35 %. Hvis jordvask skal være en attraktiv behandlingsform i Danmark, hvor et vist overskud på rensningen er nødvendig, skal prisen for jordrensning derfor ligge mellem 300- og 500 kr./ton. K.K. Miljøteknik AS betalte det tyske firma 300

kr./ton for rensning af jorden, men derudover kom udgiften til deponering af affaldsfraktionen.

Resultaterne af de gennemførte forsøg var, at jorden blev rensset til klasse 2/3 niveau, det vil sige ned til 400 mg bly/kg og 300 mg olie/kg. Det lykkedes ikke på noget tidspunkt at rense jorden helt ren, og genanvendelsesmulighederne i Danmark for let forurenede jord er stadig meget begrænsede. Derfor skal der til behandlingsprisen sandsynligvis lægges 100-150 kr./ton til deponering af den rensede jord, hvilket yderligere presser den pris, som behandling af jorden må koste.

# 5 Foreløbige konklusioner

Følgende foreløbige konklusioner udledes på baggrund af de resultater, der er opnået i nærværende projekt.

For jordvask generelt kan det konkluderes, at

- Når jorden har været behandlet i jordvaskeanlægget, findes forureningen primært, men ikke alene i finfraktionen og i jordens organiske fraktioner.
- Fyldjord fra byområder indeholder ofte asfaltklumper, som ved kemisk analyse fremstår som olie/tjæreprodukter, og asfalt/slaggeklumper vil efter rensning genfindes i de genanvendelige grus- og stenfraktioner.
- For højt indhold af finfraktion før vask medfører problemer med at opnå en tilstrækkelig høj grad af genanvendeligt materiale efter jordvask.
- Der blev gennemsnitligt genereret ca. 50 % affaldsfraktioner fra de seks forsøgsrensninger. For at sikre at jordvask kan betale sig, i forhold til deponering af jord, skal prisen ligge på mellem 300 og 500 kr./ton og selvfølgelig helst i den lave ende.

For jordvaskeforsøg gennemført på det aktuelle anlæg kan følgende konkluderes:

- Der var ingen markant forskel på resultaterne af rensning for tungmetaller og for tunge olieprodukter.
- Jordvask som rensningsmetode gav acceptable resultater for Jord 4, 5/6, mens resultaterne for jord 1, 2 og 3 ikke var tilfredsstillende.
- En af forklaringerne på de ikke så tilfredsstillende resultater er, at anlægget meget vanskeligt kan frasortere frit metal, som derfor ender i de grove fraktioner.
- Det kan ikke på baggrund af kun et forsøg vurderes, om der sker en flytning af forureningskomponenter mellem fraktionerne ved jordvask (Jord 6).
- Det var vanskeligt at vurdere resultaterne af jordvaskeforsøgene, idet den meget inhomogene fordeling af forureningen i jorden inden jordvask betød, at Ud-prøverne viste 3-4 gange højere koncentrationer end Ind-prøverne.

Følgende anbefalinger udledes på baggrund af de opnåede resultater:

- Anvendelse af tørsigtning som et alternativ, giver en væsentlig anden sigtekurve og en anden fordeling af forureningskomponenterne i Indfraktionerne end opnået fra prøver med den traditionelle sigtning i henhold til Dansk Standard 405.9. Tørsigtning kan på den baggrund ikke anbefales.
- Hvis mulighederne for genanvendelse af sten- og grusfraktioner skal vurderes, bør der udføres en udvaskningstest eller lignende på fraktionen, frem for en analyse af totalindholdet i jorden.
- Det vurderes på baggrund af nærværende resultater, at hvis jorden skal testes for egnethed til jordvask, skal en sigteanalyse kombineres med en analyse for indhold af organisk materiale (f.eks. glødetabsanalyse) og en GC-FID analyse.
- Forbruget af olie lå på ca. 3,3 l pr. ton jord og forbruget af vand på ca. 0,4 m<sup>3</sup> pr. ton jord behandlet på anlægget, hvilket svarer til en udgift på ca. 25 kr./ton. Forbrug i den størrelsesorden vurderes at være acceptabelt for en oprensning.
- Påvirkningen af det eksterne miljø vil primært komme fra generatoren, der leverer strøm til jordvaskeanlægget, men det var ikke noget problem ved anlægget i Rødby.

På baggrund af ovenstående vurderes der at være et potentiale for jordvask i Danmark, men der er brug for yderligere forsøg til at vise, om resultaterne kan forbedres i et anlæg evt. opbygget med supplerende enhedsoperationer, i forhold til det her behandlede anlæg fra Werner Frantzen.

## 6 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen: Miljøprojekt nr. 503, 1999: Oprensning af blandingsforurenet jord.
- /2/ Armishaw, R et al. (1992): Review of innovative contaminated soil clean-up processes. Warren Springs laboratory.
- /3/ Neeße, Th. Grohs, H.(1990, 1991): Verfahrenstechnische Grundlagen des Bodenwaschens. Sonderdruck aus Aufbereitungs-technik Mineral Processing.
- /4/ Miljøstyrelsens Vejledning nr. 6: ”Oprydning på forurenede grunde – Hovedbind”, 1998.

Resultater for Jord 6 - Før vask

Resultater af pose 2 er slettet !

Ind-prøver

		Tot.kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	PAH'er	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Bly	Zink
Pose 1	> 2 mm	47	0	25	22	0	10,78	0,81	8	80	5,9	73	170
Pose 3	> 2 mm	120	5	24	77	14	2,11	0,72	5,1	240	7,5	210	230
<b>Gennemsnit; &gt; 2mm</b>		83,5	2,5	24,5	49,5	7,0	6,4	0,8	6,6	160,0	6,7	141,5	200,0

Pose 1	0,5-2 mm	140	3	40	82	15	15,21	1,1	7,6	310	9,8	690	820
Pose 3	0,5-2 mm	110	0	47	56	7	17,2	1,4	8,4	270	12	1000	460
<b>Gennemsnit; 0,5-2 m</b>		125,0	1,5	43,5	69,0	11,0	16,2	1,3	8,0	290,0	10,9	845,0	640,0

Pose 1	0,25-0,5 m	54	0	11	33	10	6,48	0,77	7,9	180	6,2	360	320
Pose 3	0,25-0,5 m	25	0	11	7	7	6,37	0,91	9,2	200	9,2	400	350
<b>Gennemsnit; 0,25-0,5 m</b>		39,5	0,0	11,0	20,0	8,5	6,4	0,8	8,6	190,0	7,7	380,0	335,0

Pose 1	0,125-0,25	< 25	1	2	2	2	3,83	0,67	9,5	150	6,1	320	270
Pose 3	0,125-0,25	37	1	2	7	27	4,55	0,78	12	180	7	320	290
<b>Gennemsnit; 0,125-0,25 m</b>		31,0	1,0	2,0	4,5	14,5	4,2	0,7	10,8	165,0	6,6	320,0	280,0

Pose 1	0,063-0,12	74	0	23	44	7	8,08	1,5	28	680	14	660	750
Pose 3	0,063-0,12	38	0	21	8	9	5,89	1,4	25	580	13	540	2900
<b>Gennemsnit; 0,063-0,12 m</b>		56,0	0,0	22,0	26,0	8,0	7,0	1,5	26,5	630,0	13,5	600,0	1825,0

Pose 1	< 0,063 m	140	5	35	95	25	12,91	2,4	58	540	29	950	3500
Pose 3	< 0,063 m	130	5	54	67	25	11,41	1,4	35	330	18	630	700
<b>Gennemsnit; &lt; 0,063 m</b>		135,0	5,0	44,5	81,0	4,5	12,2	1,9	46,5	435,0	23,5	790,0	2100,0

Totalindhold i pose 1		100	< 5	46	54	< 25	23,64	1,6	30	400	16	790	800
Totalindhold i pose 3		97	< 5	29	60	< 25	9,11	1,6	26	270	16	440	610

Indhold af forureningskomponenter vægtet efter fraktionens størrelse

Resultater af pose 2 er slettet !

Kornstørrelsefor	Tot.kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	PAH'er	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Bly	Zink	
Pose 1	14,8	7,0	0,0	3,7	3,3	0,0	1,6	0,1	1,2	11,8	0,9	10,8	25,2
Pose 3	27	32,4	1,4	6,5	20,8	3,8	0,6	0,2	1,4	64,8	2,0	56,7	62,1
<b>Gennemsnit; &gt; 2mm</b>	<b>19,7</b>	<b>0,7</b>	<b>5,1</b>	<b>12,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>	<b>0,2</b>	<b>1,3</b>	<b>38,3</b>	<b>1,4</b>	<b>33,8</b>	<b>43,6</b>	

Pose 1	14,2	19,9	0,4	5,7	11,6	2,1	2,2	0,2	1,1	44,0	1,4	98,0	116,4
Pose 3	8,8	9,7	0,0	4,1	4,9	0,6	1,5	0,1	0,7	23,8	1,1	88,0	40,5
<b>Gennemsnit; 0,5-2 m</b>	<b>14,8</b>	<b>0,2</b>	<b>4,9</b>	<b>8,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>33,9</b>	<b>1,2</b>	<b>93,0</b>	<b>78,5</b>	

Pose 1	15,9	8,6	0,0	1,7	5,2	1,6	1,0	0,1	1,3	28,6	1,0	57,2	50,9
Pose 3	17,6	4,4	0,0	1,9	1,2	1,2	1,1	0,2	1,6	35,2	1,6	70,4	61,6
<b>Gennemsnit; 0,25-0,5</b>	<b>6,5</b>	<b>0,0</b>	<b>1,8</b>	<b>3,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>	<b>1,4</b>	<b>31,9</b>	<b>1,3</b>	<b>63,8</b>	<b>56,2</b>	

Pose 1	17,6	25,0	0,2	10,0	0,4	0,4	0,7	0,1	1,7	26,4	1,1	56,3	47,5
Pose 3	15,2	5,6	0,2	10,0	1,1	4,1	0,7	0,1	1,8	27,4	1,1	48,6	44,1
<b>Gennemsnit; 0,125-0,25</b>	<b>15,3</b>	<b>0,2</b>	<b>10,0</b>	<b>0,7</b>	<b>2,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>	<b>1,7</b>	<b>26,9</b>	<b>1,1</b>	<b>52,5</b>	<b>45,8</b>	

Pose 1	9	6,7	0,0	2,1	4,0	0,6	0,7	0,1	2,5	61,2	1,3	59,4	67,5
Pose 3	14,2	5,4	0,0	3,0	1,1	1,3	0,8	0,2	3,6	82,4	1,8	76,7	411,8
<b>Gennemsnit; 0,063-0,125</b>	<b>6,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>3,0</b>	<b>71,8</b>	<b>1,6</b>	<b>68,0</b>	<b>239,7</b>	

Pose 1	28,4	39,8	1,4	9,9	27,0	7,1	3,7	0,7	16,5	153,4	8,2	269,8	994,0
Pose 3	17	22,1	0,9	9,2	11,4	4,3	1,9	0,2	6,0	56,1	3,1	107,1	119,0
<b>Gennemsnit; &lt; 0,063</b>	<b>30,9</b>	<b>1,1</b>	<b>9,6</b>	<b>19,2</b>	<b>5,7</b>	<b>2,8</b>	<b>0,5</b>	<b>11,2</b>	<b>104,7</b>	<b>5,6</b>	<b>188,5</b>	<b>556,5</b>	

Summeret indhold i pc	106,8	2,0	33,1	51,4	11,8	9,9	1,3	24,2	325,4	13,8	551,5	1301,5
Summeret indhold i pc	79,6	2,4	34,7	40,5	15,3	6,7	1,0	15,1	289,6	10,7	447,5	739,1

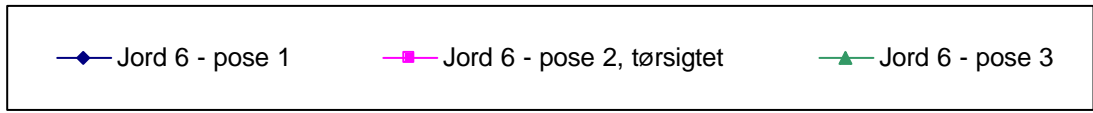
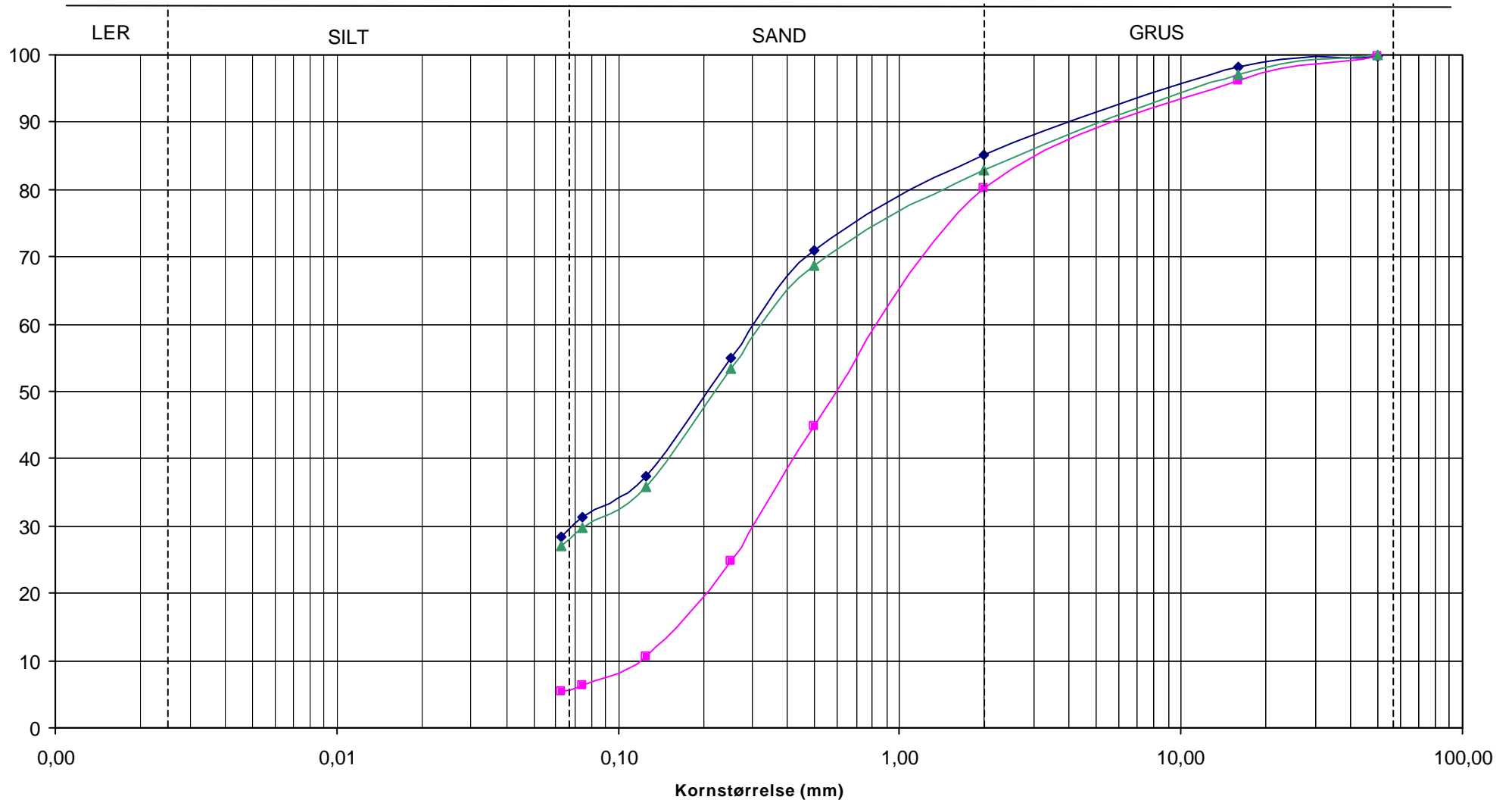


## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	Jord 6 - pose finfraktion udvasket			Jord 6 - pose 2, tørresigtning på hele prø			Jord 6 - po finfraktion udvasket						
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)	2197,8	100		100	1759,8	100		2292,2	100	100		100	100
< 0,063 mm (b - c)	623,3	28,4	0,063	28,4	93,3	5,3	5,3	619,5	27,0	27,0		#####	#####
> 0,063 mm	62,5	2,8	0,075	31,2	17,1	1,0	6,3	62,4	2,7	29,7		#####	#####
> 0,075 mm	135,3	6,2	0,125	37,4	75,2	4,3	10,5	140,3	6,1	35,9		#####	#####
> 0,125 mm	387,5	17,6	0,250	55,0	249,7	14,2	24,7	403,6	17,6	53,5		#####	#####
> 0,25 mm	348,7	15,9	0,500	70,9	354,2	20,1	44,9	347,8	15,2	68,7		#####	#####
> 0,5 mm	313	14,2	2,000	85,1	622,1	35,4	80,2	326,2	14,2	82,9		#####	#####
> 2 mm	285,7	13,0	16,000	98,1	282,6	16,1	96,3	323,2	14,1	97,0		#####	#####
> 16 mm	38,7	1,8	50,000	99,9	60,3	3,4	99,7	66,9	2,9	99,9		#####	#####

# SIGTEKURVE



## Forurennet byjord - Sag nr. 1857

### Ud prøver

	2 sten	Tot.kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	PAH'er	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Bly	Zink
<b>Pose 1</b>	32-100 mm	25	2	5	10	10	5	0,11	6,4	7,2	3,6	9	26
<b>Pose 2</b>	32-100 mm												
<b>Pose 2</b>	før knusnr	25	2	5	10	10	5	0,05	0,46	5,2	0,6	6,8	8
<b>Pose 2</b>	efter knusnr	25	2	5	10	10	5	0,05	1	13	8,9	13	22
<b>Pose 5</b>	32-100 mm	25	2	5	10	10	5	0,34	15	31	15	50	110
<b>Pose 6</b>	32-100 mm												
<b>Gennemsnit; 32-100</b>		< 25	< 5	< 10	< 25	< 25	< 5	0,1	5,7	14,1	7,0	19,7	41,5

### 3 Småsten

<b>Pose 1</b>	2-32 mm	910	12	490	340	68	220	0,7	3,2	150	6,8	160	220
<b>Pose 3</b>	2-32 mm	25	1	4	10	10	0,25	0,63	16	85	14	92	240
<b>Pose 5</b>	2-32 mm	290	1	100	150	39	28,22	1,3	11	180	16	230	410
<b>Gennemsnit; 2-32 mm</b>		408	5	198	167	39	83	1	10	138	12	161	290

### 4 Organisk

<b>Pose 1</b>	2-32 mm	890	9,1	320	470	93	110	1,1	7,3	240	8,9	110	270
<b>Pose 3</b>	2-32 mm	410	0	160	200	50	43	0,86	8,9	110	13	470	220
<b>Pose 5</b>	2-32 mm	560	5,6	180	300	74	53	2,2	14	340	15	190	470
<b>Gennemsnit; 2-32 mm</b>		620	5	220	323	72	69	1	10	230	12	257	320

### 5 Sand

<b>Pose 1</b>	0,063-2 mm	110	2	34	57	17	12	0,86	5,8	170	5,9	350	360
<b>Pose 3</b>	0,063-2 mm	140	3	48	69	20	16	0,72	6,5	170	9	340	310
<b>Pose 5</b>	0,063-2 mm	110	1	52	48	9	11	0,81	5,8	170	7,4	550	340
<b>Gennemsnit; 0,063-2</b>		120	2	45	58	15	13	1	6	170	7	413	337

### 6 Organisk

<b>Pose 1</b>	0,063-2 mm	470	6	190	240	34	35	0,95	11	200	12	550	310
<b>Pose 3</b>	0,063-2 mm	730	5,6	330	340	50	84	1,2	9,8	400	9,9	8400	530
<b>Pose 5</b>	0,063-2 mm	400	6	160	200	34	36	0,86	6,5	300	12	160	290
<b>Gennemsnit; 0,063-2</b>		533	6	227	260	39	52	1	9	300	11	3037	377

### 7

<b>Pose 1</b>	<0,063	280	11	100	140	29	12	2,4	62	530	29	1300	1500
<b>Pose 3</b>	<0,063	220	3	87	120	10	17	1,7	46	400	22	1100	1300
<b>Pose 5</b>	<0,063	260	1	100	140	19	20	2,2	59	500	27	1100	1200
<b>Gennemsnit; &lt; 0,063</b>		253	5	96	133	19	16	2	56	477	26	1167	1333

Betyder at koncentrationen er under det angivne niveau, og for kulbrinter er indholdet afstemt så det svarer til koncentrationen af total kulbrinter.

## Indhold af forureningskomponenter vægtet efter fraktionens størrelse

Prøve nr.	Kornstørrelse	kulbrinte	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	PAH'er	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Bly	Zink
Pose 1	1,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3
Pose 2	1,3												
Pose 3 - f	1,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
Pose 3 - e	1,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,3
Pose 5	1,3	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,2	0,7	1,4
Pose 6	1,3												
<b>Gennemsnit; 32-100</b>	<b>&lt; 0,3</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>&lt; 0,3</b>	<b>&lt; 0,3</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Pose 1	9,1	82,8	1,1	44,6	30,9	6,2	20,0	0,1	0,3	13,7	0,6	14,6	20,0
Pose 3	9,1	2,3	0,1	0,4	0,9	0,9	0,0	0,1	1,5	7,7	1,3	8,4	21,8
Pose 5	9,1	26,4	0,1	9,1	13,7	3,5	2,6	0,1	1,0	16,4	1,5	20,9	37,3
<b>Gennemsnit; 2-32 m</b>	<b>37</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	
Pose 1	2,4	21,4	0,2	7,7	11,3	2,2	2,6	0,0	0,2	5,8	0,2	2,6	6,5
Pose 3	2,4	9,8	0,0	3,8	4,8	1,2	1,0	0,0	0,2	2,6	0,3	11,3	5,3
Pose 5	2,4	13,4	0,1	4,3	7,2	1,8	1,3	0,1	0,3	8,2	0,4	4,6	11,3
<b>Gennemsnit; 2-32 m</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	
Pose 1	16,3	17,9	0,3	5,5	9,3	2,8	2,0	0,1	0,9	27,7	1,0	57,1	58,7
Pose 3	16,3	22,8	0,5	7,8	11,2	3,3	2,6	0,1	1,1	27,7	1,5	55,4	50,5
Pose 5	16,3	17,9	0,2	8,5	7,8	1,5	1,8	0,1	0,9	27,7	1,2	89,7	55,4
<b>Gennemsnit; 0,063-2</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>67</b>	<b>55</b>	
Pose 1	32,8	154,2	2,0	62,3	78,7	11,2	11,5	0,3	3,6	65,6	3,9	180,4	101,7
Pose 3	32,8	239,4	1,8	108,2	111,5	16,4	27,6	0,4	3,2	131,2	3,2	2755,2	173,8
Pose 5	32,8	131,2	2,0	52,5	65,6	11,2	11,8	0,3	2,1	98,4	3,9	52,5	95,1
<b>Gennemsnit; 0,063-2</b>	<b>175</b>	<b>2</b>	<b>74</b>	<b>85</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>98</b>	<b>4</b>	<b>996</b>	<b>124</b>	
Pose 1	38,1	106,7	4,2	38,1	53,3	11,0	4,6	495,3	571,5	201,9	11,0	495,3	571,5
Pose 3	38,1	83,8	1,1	33,1	45,7	3,8	6,5	0,6	17,5	152,4	8,4	419,1	495,3
Pose 5	38,1	99,1	0,4	38,1	53,3	7,2	7,6	0,8	22,5	190,5	10,3	419,1	457,2
<b>Gennemsnit; &lt; 0,063</b>	<b>97</b>	<b>2</b>	<b>36</b>	<b>51</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>166</b>	<b>204</b>	<b>182</b>	<b>10</b>	<b>445</b>	<b>508</b>	
<b>Summeret indhold i</b>	<b>343,4</b>	<b>4,8</b>	<b>141,5</b>	<b>168,8</b>	<b>28,4</b>	<b>34,6</b>	<b>166,2</b>	<b>209,1</b>	<b>326,0</b>	<b>16,3</b>	<b>1529,0</b>	<b>721,1</b>	

## Resultater for Jord 1- Før vask

Prøve	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber
M2	140	< 5	< 5	140	< 25	440	150
før-2014	97	<5	32	46	<25	400	100
før-2014-2158	110	<5	31	58	<25	260	89
Gennemsnit	116	< 5	23	81	< 25	367	113
Spredning	22		1	51		95	33

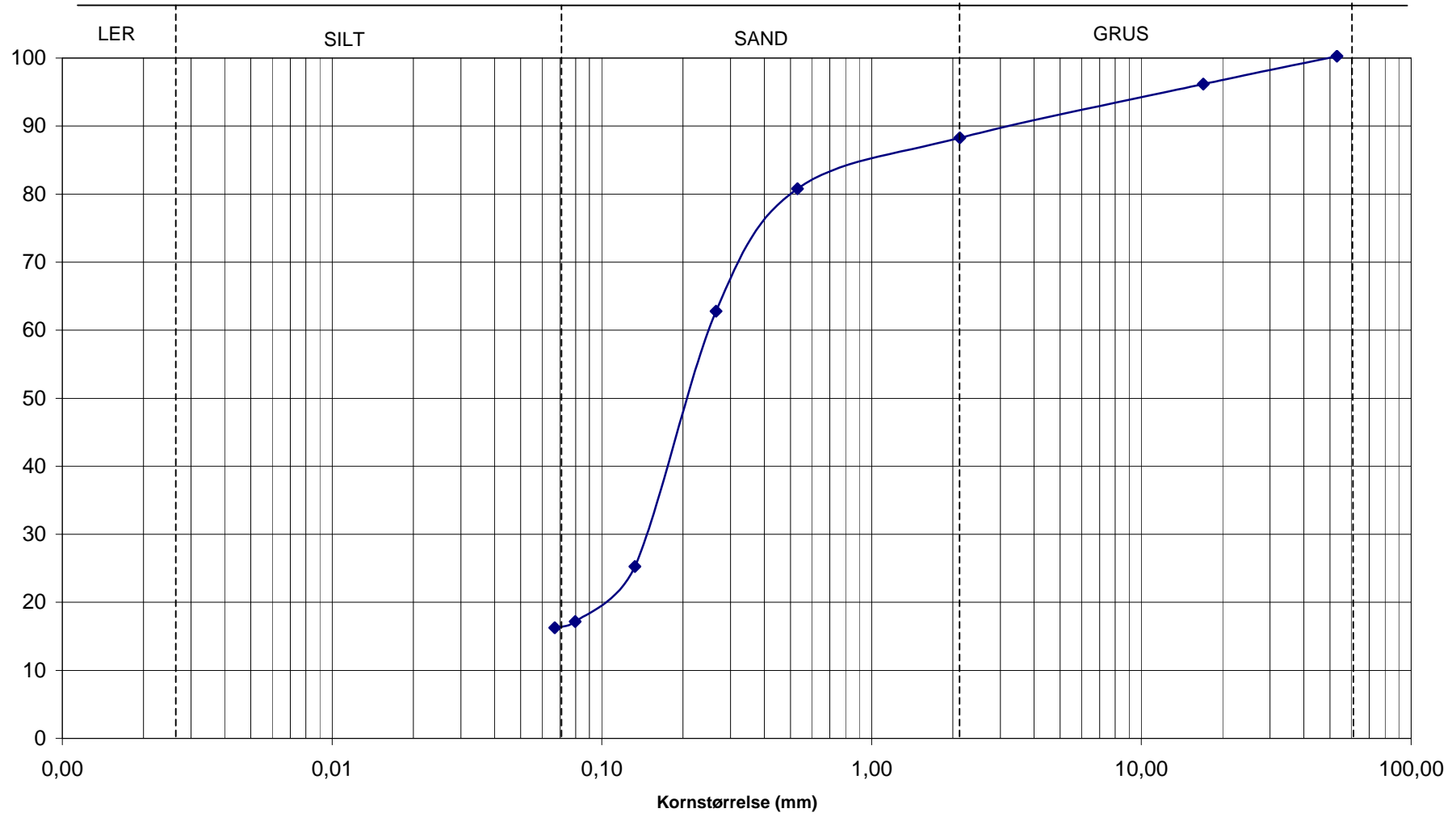
## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	Jord 1												
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)		100		100					100	100		100	100
< 0,063 mm (b - c)		16,0	0,063	16,0					#####	#####		#####	#####
> 0,063 mm		0,9	0,075	16,9					#####	#####		#####	#####
> 0,075 mm		8,1	0,125	25,0					#####	#####		#####	#####
>0,125 mm		37,5	0,250	62,5									
>0,25 mm		18,0	0,500	80,5									
> 0,5 mm		7,5	2,000	88,0					#####	#####		#####	#####
> 2 mm		7,9	16,000	95,9					#####	#####		#####	#####
> 16 mm		4,1	50,000	100,0					#####	#####		#####	#####

Beregning eks:  $\% > 16 \text{ mm} = > 16 \text{ mm} * 100 / \text{vægt tør jord (+ 0,063 mm)}$

# SIGTEKURVE



—◆— Jord 1

## Resultater af jord 1 - efter vask

Jord 1	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber
<b>Sten</b>	500	< 5	93	350	57	11	57
<b>32-100 mm</b>	110	< 5	56	44	< 25	190	96
	51	< 5	18	< 25	< 25	310	34
Gennemsnit	220	< 5	56	140	36	170	62
Spredning	244		38	216		150	31
<b>Små sten</b>	170	< 5	79	71	< 25	220	120
<b>2-32 mm</b>	220	< 5	180	42	< 25	70	42
	170	< 5	71	83	< 25	810	1000
Gennemsnit	187	< 5	110	46	< 25	367	387
Spredning	29		61	21		391	532
<b>Organisk</b>	220	< 5	82	91	45	480	280
<b>2-32 mm</b>	2600	38	1300	1000	200	620	170
Gennemsnit	1410	21,5	691	546	123	550	225
Spredning	1683		861	643	110	99	78
<b>Sand</b>	< 25	< 5	< 10	< 25	< 25	290	50
<b>0,063-2 mm</b>	56	< 5	19	26	< 25	270	230
	45	< 5	15	< 25	< 25	160	22
	25	< 5	< 10	< 25	< 25	240	33
	31	< 5	< 10	< 25	< 25	190	25
	48	< 5	17	< 25	< 25	200	27
	42	< 5	13	< 25	< 25	130	21
	30	< 5	< 10	< 25	< 25	130	33
	< 25	< 5	< 10	< 25	< 25	41	12
Gennemsnit	36	< 5	13	< 25	< 25	183	50
Spredning						78	68
<b>Organisk</b>	490	< 5	210	210	70	230	140
<b>0,063-2 mm</b>	350	< 5	160	160	< 25	2300	74
Gennemsnit	420	< 5	185	185	48	1265	107
Spredning	99		35	35		1464	47
<b>Finfraktion</b>	140	< 5	52	60	< 25	1100	180
<b>&lt; 0,063 mm</b>	92	< 5	35	45	< 25	480	110
	100	< 5	49	47	< 25	1500	310
	86	< 5	48	35	< 25	1800	370
Gennemsnit	105	< 5	46	47	< 25	1220	243
Spredning	24		8	10		571	119



## Resultater af jord 1 - efter vask, vægtet efter fraktionens størrelse

Kornstørrelses-								
Jord 1	fordeling	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber
Sten 32-100 mm	2,1	11	< 0,1	2	7	1	0	1
	2,1	2	< 0,1	1	1	< 0,5	4	2
	2,1	1	< 0,1	0	< 1	< 0,5	7	1
Gennemsnit		5	< 0,1	1	3	< 0,5	4	1
Spredning		5		1	5		3	1
Små sten 2-32 mm	16,8	29	< 0,8	13	12	< 5	37	20
	16,8	37	< 0,8	30	7	< 5	12	7
	16,8	29	< 0,8	12	14	< 5	136	168
Gennemsnit		31	< 0,8	18	7	< 5	62	65
Spredning		5		10	4		66	89
Organisk 2-32 mm	1,1	2	< 0,1	1	1	0	5	3
	1,1	29	0,4	14	11	2	7	2
Gennemsnit		16	0,3	8	6	1	6	2
Spredning		19		9	7	1	1	1
Sand 0,063-2 mm	51,7	< 11	< 2,6	< 5	< 12	< 13	150	26
	51,7	29	< 2,6	10	13	< 13	140	119
	51,7	23	< 2,6	8	< 12	< 13	83	11
	51,7	13	< 2,6	< 5	< 12	< 13	124	17
	51,7	16	< 2,6	< 5	< 12	< 13	98	13
	51,7	25	< 2,6	9	< 12	< 13	103	14
	51,7	22	< 2,6	7	< 12	< 13	67	11
	51,7	16	< 2,6	< 5	< 12	< 13	67	17
	51,7	< 11	< 2,6	< 5	< 12	< 13	21	6
Gennemsnit		18	< 2,6	6	< 12	< 13	95	26
Spredning							40	35
Organisk 0,063-2 mm	1,5	7	< 0,1	3	3	1	3	2
	1,5	5	< 0,1	2	2	< 0,5	35	1
Gennemsnit		6	< 0,1	3	3	1	19	2
Spredning		1		1	1		22	1
Finfraktion < 0,063 mm	26,8	38	< 1,3	14	16	< 7	295	48
	26,8	25	< 1,3	9	12	< 7	129	29
	26,8	27	< 1,3	13	13	< 7	402	83
	26,8	23	< 1,3	13	9	< 7	482	99
Gennemsnit		28	< 1,3	12	13	< 7	327	65
Spredning		7		2	3		153	32

## Resultater for Jord 2- Før 1. vask

Jord 2	total kulbrin	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
225	220	<5	59	120	31	1900
225-Før	370	<5	110	220	51	1500
Gennemsnit	295	< 5	85	170	41	1700
Spredning	106		36	71	14	283

## Resultater for Jord 2- Før 2. vask

Jord 2	total kulbrin	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
<b>Små sten 2-32 mm</b>						
<b>Sand 0,063-2 mm</b>	34	< 5	11	< 25	< 25	3200
	41	< 5	13	< 25	< 25	780
	43	< 5	13	< 25	< 25	880
	68	< 5	23	34	< 25	1700
	120	< 5	45	61	< 25	1600
	50	< 5	22	25	< 25	1500
	100	< 5	33	56	< 25	1300
	170	< 5	57	89	26	1500
	150	< 5	46	81	< 25	930
	130	< 5	38	76	< 25	7500
	120	< 5	35	63	< 25	1700
	120	< 5	38	61	< 25	3100
	130	< 5	45	69	< 25	1300
Gennemsnit	98	< 5	32	53	< 25	2076
Spredning	46		15	20		1792

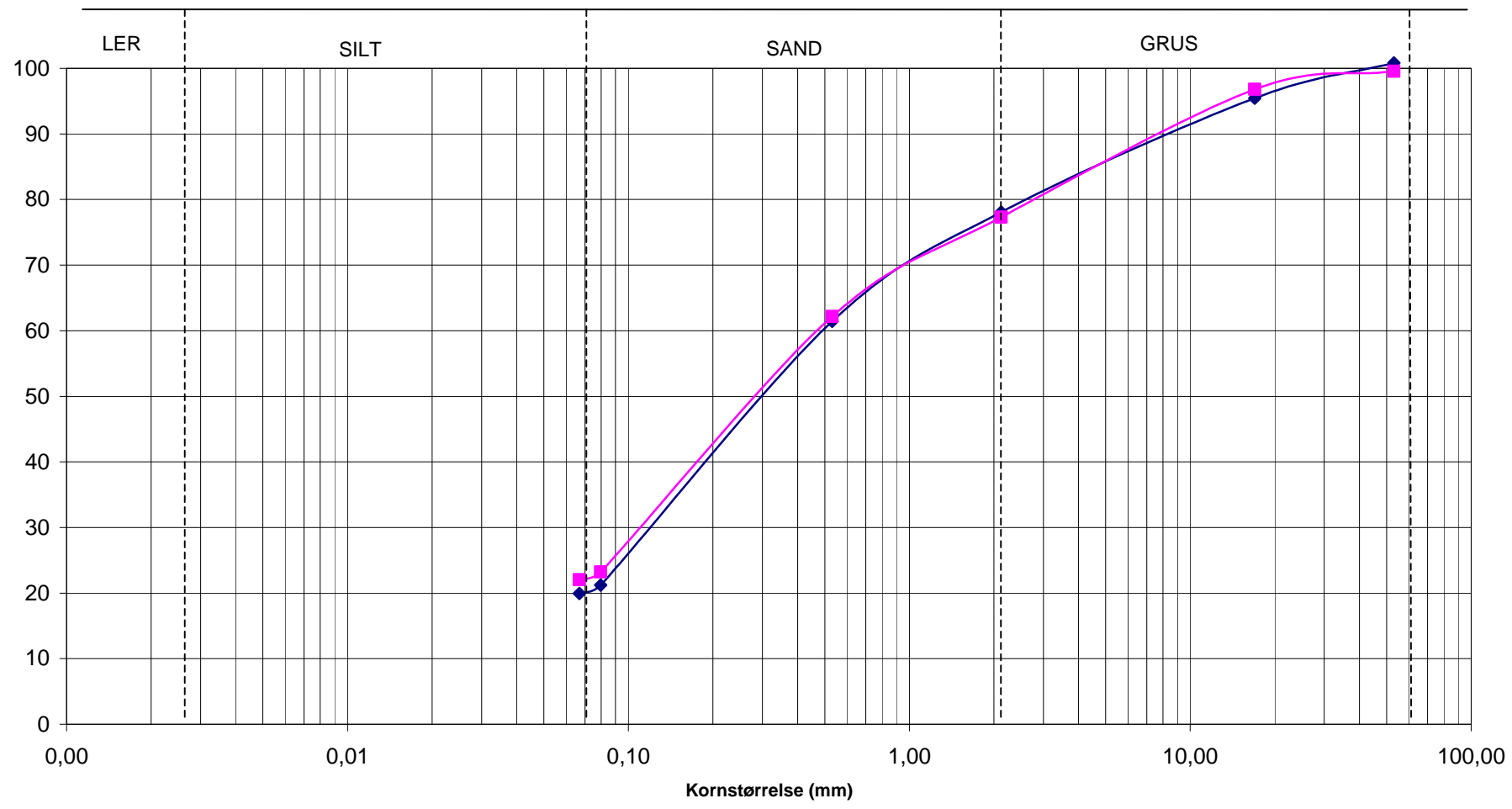
## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	225-1			225-2									
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumuleret	Vægt	% fraktion	% kumuleret	Vægt	% fraktion	% kumuleret	Vægt	% fraktion	% kumuleret
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)	281,3	100		100	292,2	100	100		100	100		100	100
< 0,063 mm (b - c)	53	18,8	0,063	18,8	61,2	20,9	20,9		#####	#####		#####	#####
> 0,063 mm	3,6	1,3	0,075	20,1	3,4	1,2	22,1		#####	#####		#####	#####
> 0,075 mm	113,1	40,2	0,500	60,3	113,8	38,9	61,1		#####	#####		#####	#####
> 0,5 mm	46,8	16,6	2,000	77,0	44,2	15,1	76,2		#####	#####		#####	#####
> 2 mm	48,9	17,4	16,000	94,3	57	19,5	95,7		#####	#####		#####	#####
> 16 mm	15,1	5,4	50,000	99,7	8,1	2,8	98,5		#####	#####		#####	#####

Beregning eks:  $\% > 16 \text{ mm} = > 16 \text{ mm} * 100 / \text{vægt tør jord (+ 0,063 mm)}$

# SIGTEKURVE



## Resultater for Jord 2 efter 1. Vask

<b>Jord 2</b>	<b>Tot.Kulb.</b>	<b>C5-C10</b>	<b>C10-C25</b>	<b>C25-C35</b>	<b>C35-C40</b>	<b>Bly</b>
<b>Sten</b>						
<b>32-100 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Små sten</b>						
<b>2-32 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Organisk</b>	1300	< 5	390	740	170	290
<b>2-32 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
	1300	< 5	390	740	170	290
<b>Sand</b>	34	< 5	11	< 25	< 25	3200
<b>0,063-2 mm</b>	41	< 5	13	< 25	< 25	780
	43	< 5	13	< 25	< 25	880
	68	< 5	23	34	< 25	1700
	120	< 5	45	61	< 25	1600
	50	< 5	22	25	< 25	1500
	100	< 5	33	56	< 25	1300
	170	< 5	57	89	26	1500
	150	< 5	46	81	< 25	930
	130	< 5	38	76	< 25	7500
	120	< 5	35	63	< 25	1700
	120	< 5	38	61	< 25	3100
	130	< 5	45	69	< 25	1300
Gennemsnit						
Spredning						
	98	< 5	32	53	< 25	2076
	46		15	20		1792
<b>Organisk</b>	3100	21	1200	1600	230	3100
<b>0,063-2 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
	3100	21	1200	1600	230	3100
<b>Finfraktion</b>	450	< 5	140	260	51	5500
<b>&lt; 0,063 mm</b>	810	< 5	250	440	120	11000
	1000	6,4	320	540	130	14000
Gennemsnit						
Spredning						
	753	5	237	413	100	10167
	279		91	142	43	4311

## Resultater for Jord 2 efter 2. Vask

Jord 2	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
<b>Sten</b>						
<b>32-100 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Små sten</b>	49	< 5	25	< 25	< 25	500
<b>2-32 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Organisk</b>	68	< 5	16	35	< 25	160
<b>2-32 mm</b>						
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Sand</b>	97	< 5	28	44	25	320
<b>0,063-2 mm</b>	80	< 5	17	38	< 25	570
	31	< 5	13	< 25	< 25	380
	47	< 5	< 10	25	< 25	610
	35	< 5	10	< 25	< 25	490
	53	< 5	24	25	< 25	510
	460	< 5	210	200	48	580
	27	< 5	< 10	< 25	< 25	320
	Gennemsnit					
Spredning						
<b>Organisk</b>	130	< 5	33	66	34	930
<b>0,063-2 mm</b>	180	< 5	64	90	26	450
	130	< 5	50	67	< 25	13000
Gennemsnit						
Spredning						
<b>Finfraktion</b>	260	< 5	84	140	36	2400
<b>&lt; 0,063 mm</b>	220	< 5	74	120	< 25	2800
Gennemsnit						
Spredning						

## Resultater for Jord 2 efter 1. Vask vægtet efter fraktionens størrelse

Kornstørrelses-							
Jord 2	fordeling	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
Sten 32-100 mm	3,7						
Gennemsnit Spredning							
Små sten 2-32 mm	4,6						
Gennemsnit Spredning							
Organisk 2-32 mm	14,6	190	< 0,7	57	108	25	42
Gennemsnit Spredning		190	< 0,7	57	108	25	42
Sand 0,063-2 mm	46,7	16	< 2,3	5	< 12	< 12	1494
	46,7	19	< 2,4	6	< 12	< 12	364
	46,7	20	< 2,5	6	< 12	< 12	411
	46,7	32	< 2,6	11	16	< 12	794
	46,7	56	< 2,7	21	28	< 12	747
	46,7	23	< 2,8	10	12	< 12	701
	46,7	47	< 2,9	15	26	< 12	607
	46,7	79	< 2,10	27	42	12	701
	46,7	70	< 2,11	21	38	< 12	434
	46,7	61	< 2,12	18	35	< 12	3503
	46,7	56	< 2,13	16	29	< 12	794
	46,7	56	< 2,14	18	28	< 12	1448
46,7	61	< 2,15	21	32	< 12	607	
Gennemsnit Spredning		46	< 2,3	15	25	< 12	970
		21		7	9		837
Organisk 0,063-2 mm	1,9	59	< 0,1	23	30	4	59
Gennemsnit Spredning		59	< 0,1	23	30	4	59
Finfraktion < 0,063 mm	28,5	128	< 1,4	40	74	15	1568
	28,5	231	< 1,4	71	125	34	3135
	28,5	285	< 1,4	91	154	37	3990
Gennemsnit Spredning		215	< 1,4	67	118	29	2898
		80		26	40	12	1229

## Resultater for Jord 2 efter 2. Vask vægtet efter fraktionens størrelse

Kornstørrelses-		Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
Jord 2	fordeling						
Sten 32-100 mm							
Gennemsnit Spredning							
Små sten 2-32 mm	3,1						
Gennemsnit Spredning		3	0	0	0	0	0
Organisk 2-32 mm	2,1						
Gennemsnit Spredning		0	0	0	0	0	0
Sand 0,063-2 mm	48,0						
Gennemsnit Spredning		0	< 5	3	9	19	0
		#####		#####	#####	#####	#####
Organisk 0,063-2 mm	28,2						
	28,2						
	28,2						
Gennemsnit Spredning		0	0	0	0	8	0
		#####		#####	#####	#####	#####
Finfraktion < 0,063 mm	18,7						
	18,7						
Gennemsnit Spredning		0	< 5	0	0	13	0
		#####		#####	#####		#####



## Resultater for Jord 3 - før vask

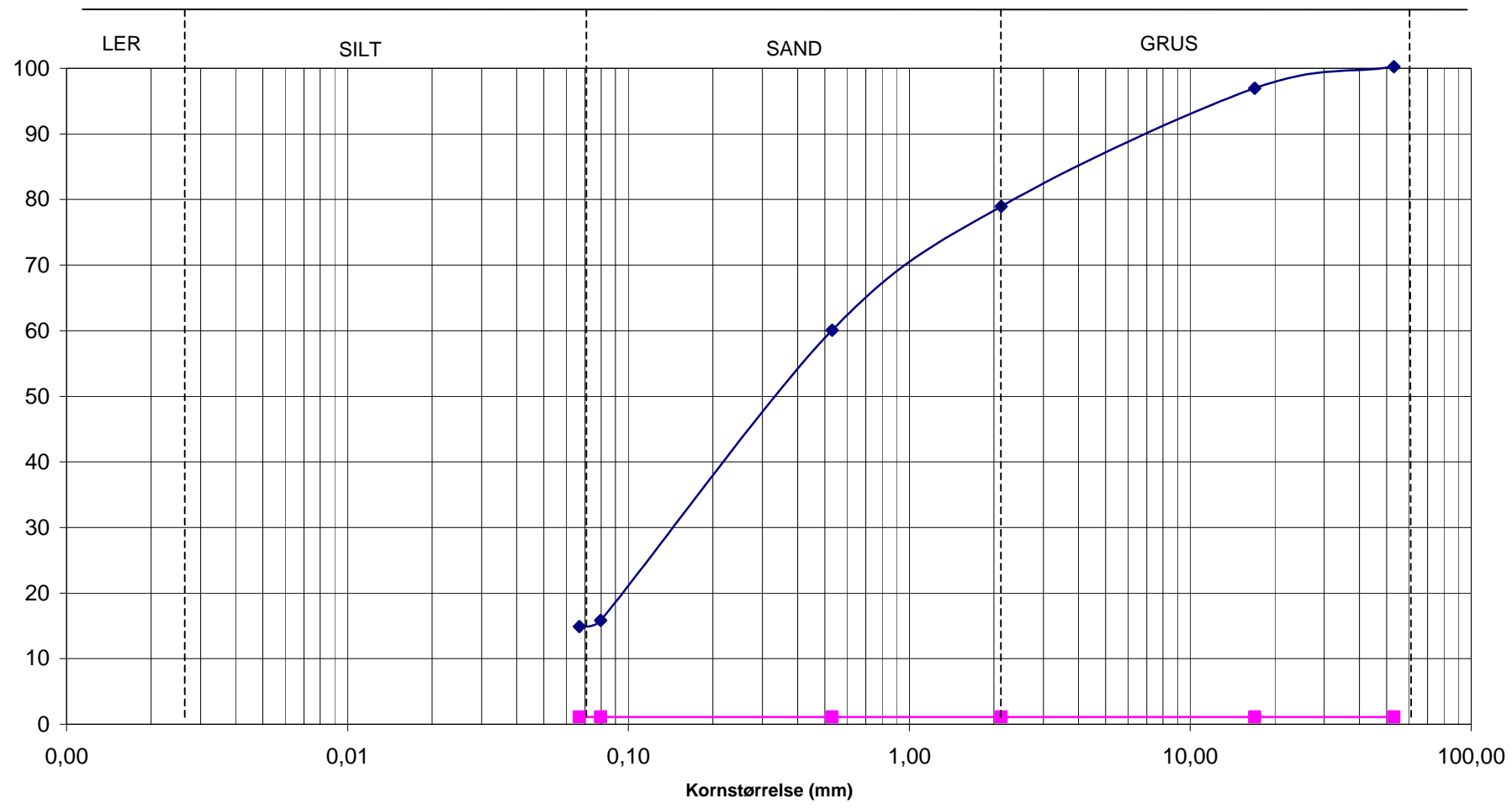
Jord 3	Total kulb.	Bly	Cadmium	Kobber	Nikkel	Zink
GI-1		98	0,67	560	13	380
GI-2		1100	5,1	28000	170	9100
GI-3		49	0,47	1300	11	560
GI-4		416	6,2	9953	65	3347
GI-5		55	0,323	520	63	230
GI-6		130	1	1200	20	730
GI-7		920	0,84	9600	41	930
KKM	440	1300				
Gennemsn	440	509	2	6392	48	1910
Spredning		519	2	10045	56	3230

## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	2101												
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)	247,8	100		100		100	100		100	100		100	100
< 0,063 mm (b - c)	34,2	13,8	0,063	13,8		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,063 mm	2,3	0,9	0,075	14,7		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,075 mm	109,6	44,2	0,500	59,0		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,5 mm	46,8	18,9	2,00	77,8		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 2 mm	44,6	18,0	16,0	95,8		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 16 mm	8,2	3,3	50,0	99,2		#####	#####		#####	#####		#####	#####

# SIGTEKURVE



## Resultater af Jord 3 - efter vask

Jord 3	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber	
<b>Sten</b>								
<b>32-100 mm</b>								
Gennemsnit								
Spredning								
<b>Små sten</b>								
<b>2-32 mm</b>								
Gennemsnit								
Spredning								
<b>Organisk</b>								
<b>2-32 mm</b>								
Gennemsnit								
Spredning								
<b>Sand</b>	450	< 5	120	260	70	1700		
<b>0,063-2 mm</b>	490	< 5	130	270	79	240		
	640	< 5	170	380	87	3400	110	
	500	< 5	130	280	90	1300		
	450					1700	2200	
Gennemsnit	506	< 5	138	298	82	1668	1155	
Spredning	78		22	56	9	1138	1478	
<b>Organisk</b>								
<b>0,063-2 mm</b>								
Gennemsnit								
Spredning								
<b>Finfraktion</b>						4000		
<b>&lt; 0,063 mm</b>								
Gennemsnit							4000	
Spredning								



## Resultater for Jord 4 - Før vask

Prøve	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber
Før mg/kg TS	150	< 5	77	64	<25	1200	770
Gennemsnit af 11 prøver	383					1400	1027

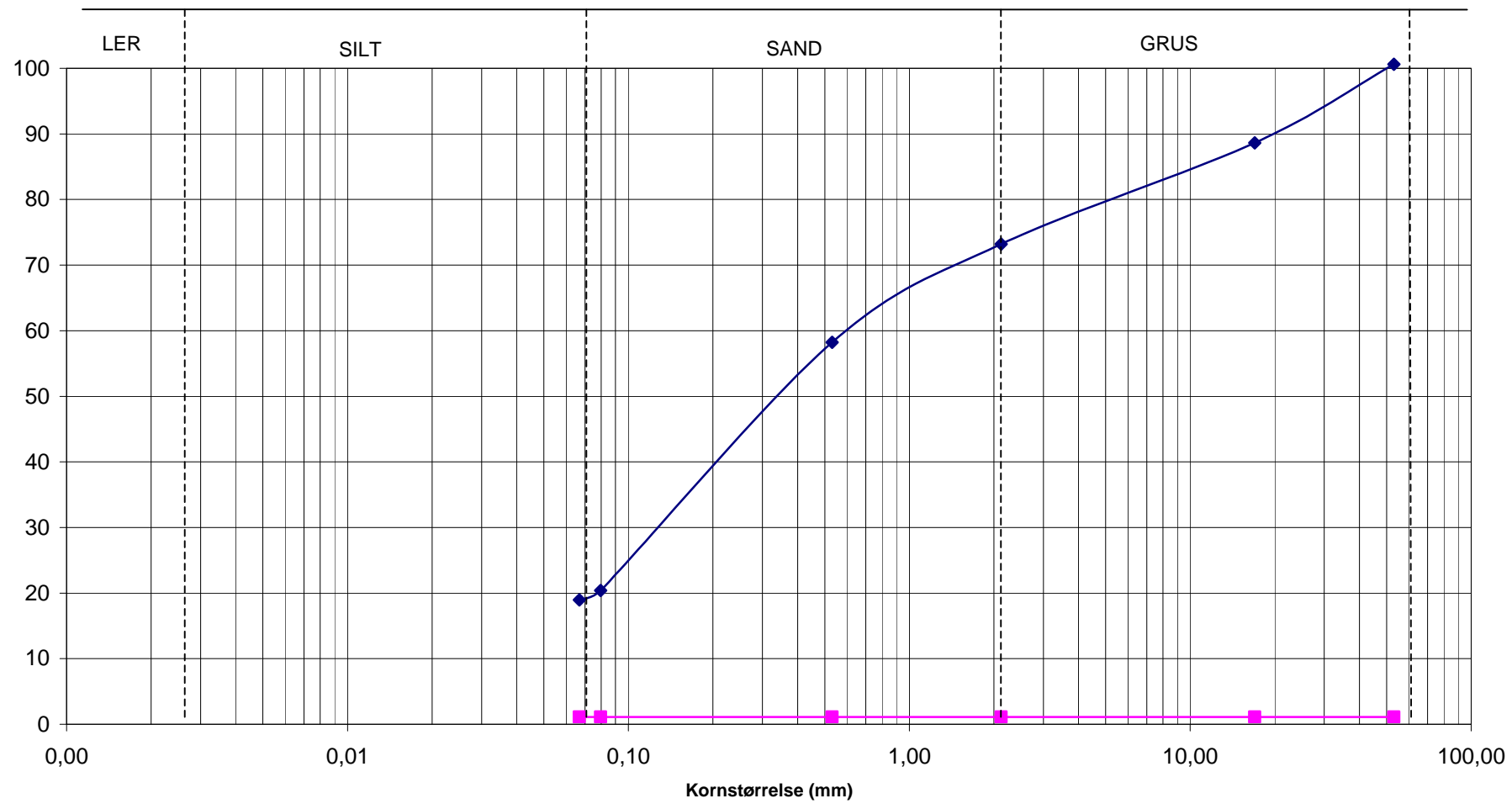
## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	2102												
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)	270	100		100		100	100		100	100		100	100
< 0,063 mm (b·c)	48,2	17,9	0,063	17,9		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,063 mm	3,9	1,4	0,075	19,3		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,075 mm	102,1	37,8	0,500	57,1		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 0,5 mm	40,5	15,0	2,00	72,1		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 2 mm	41,6	15,4	16,0	87,5		#####	#####		#####	#####		#####	#####
> 16 mm	32,4	12,0	50,0	99,5		#####	#####		#####	#####		#####	#####

Beregning eks:  $\% > 16 \text{ mm} = > 16 \text{ mm} * 100 / \text{vægt tør jord (+ 0,063 mm)}$

# SIGTEKURVE





## Resultater for Jord 4 - efter vask

Jord 4	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly	Kobber
<b>Små sten</b>	160	<5	46	80	35	12	19
Gennemsnit Spredning	160	<5	46	80	35	12	19
<b>Organisk</b>	980	84	450	340	110	130	760
Gennemsnit Spredning	980	84	450	340	110	130	760
<b>Sand</b> <b>0,063-2 mm</b>	140	<5	43	76	25	620	
	82	<5	34	39	<25	230	
	130	<5	23	73	33	130	680
	44	<5	24	<25	<25	140	430
	61	<5	32	<25	<25	170	590
	570	<5	31	380	160	140	
Gennemsnit Spredning	171	<5	31	103	56	238	567
	199		7	160	76	191	127
<b>Organisk</b>	1000	18	500	430	100	190	990
Gennemsnit Spredning	1000	18	500	430	100	190	990
<b>Finfraktion</b>	610	<5	240	290	85	1300	2000
Gennemsnit Spredning	610	<5	240	290	85	1300	2000



## Resultater for Jord 5 - Før vask

Prøve	Total kulbrinter	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40
Før 5	210	< 5	65	110	29

Prøve	Kobber	Bly	Zink
Før 1	600	1600	1400
Før 2	690	990	1400
Før 3	1300	890	2200
Før 4	620	2200	860
Før 5		1000	
gen.snit	802,5	1336	1465
Spredning	334	559	552

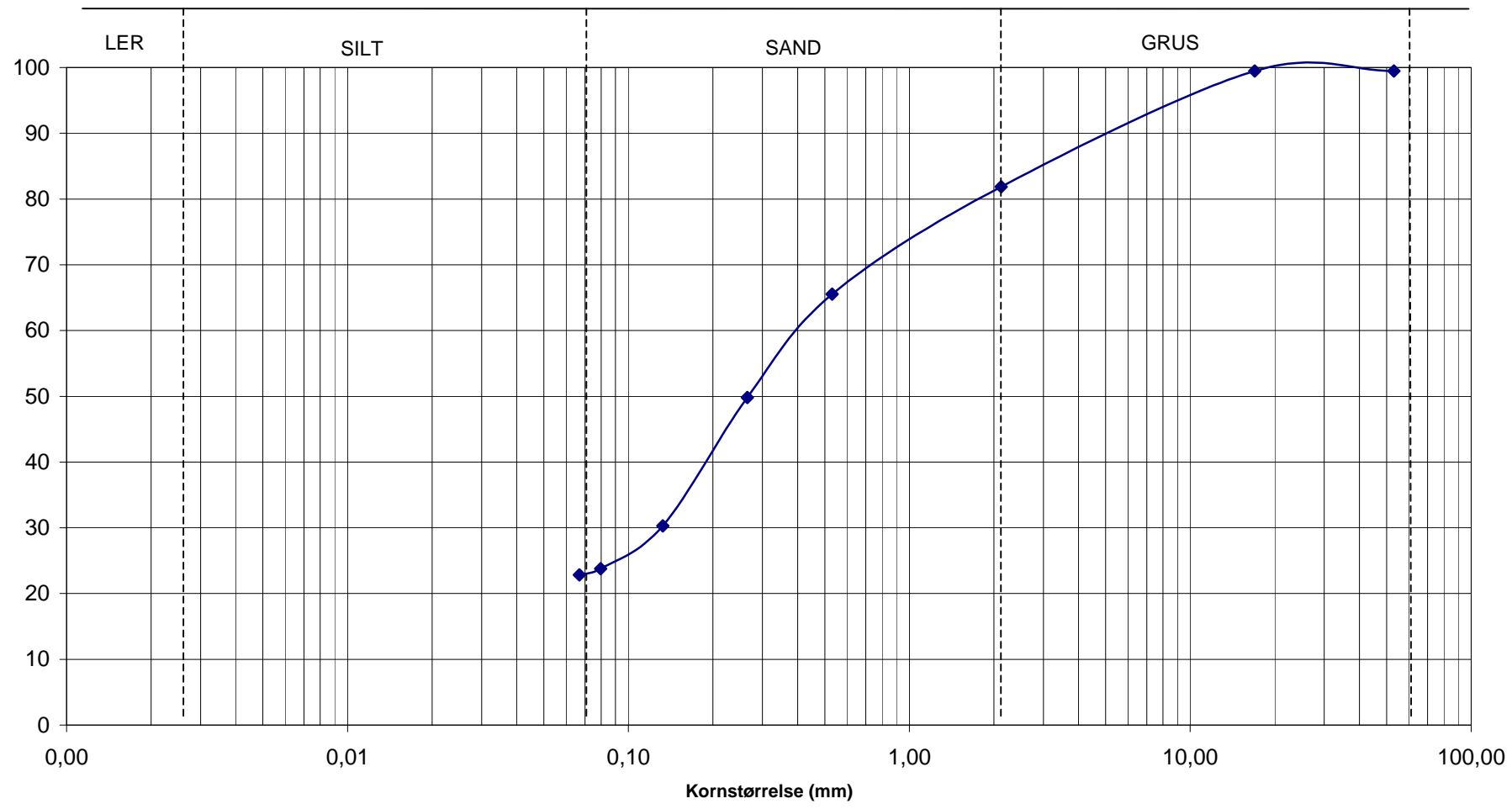
## BESTEMMELSE AF SIGTEKURVE (>0,063 mm)

1. Den tørrede prøve fra bestemmelse af finfraktion overføres til øverste sigte i sigtetårnet
2. Prøven rystes i rysteapparatet i ca. 20 minutter
3. Den tilbage værende jord på hver sigte vejes (alle sigtestørrelser er i mm)
4. Det procentvise indhold af hver fraktion beregnes

Prøve	1857												
	Vejning	Beregning		Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning	Vejning	Beregning	Beregning
	Vægt	% fraktion		% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t	Vægt	% fraktion	% kumulere t
Vægt tør jord (+ 0,063 mm) (a)	255,9	100		100					100	100		100	100
< 0,063 mm (b - c)	55,6	21,7	0,063	21,7					#####	#####		#####	#####
> 0,063 mm	2,4	0,9	0,075	22,7					#####	#####		#####	#####
> 0,075 mm	16,7	6,5	0,125	29,2					#####	#####		#####	#####
>0,125 mm	49,9	19,5	0,250	48,7									
>0,25 mm	40,3	15,7	0,500	64,4									
> 0,5 mm	41,8	16,3	2,000	80,8					#####	#####		#####	#####
> 2 mm	45	17,6	16,000	98,4					#####	#####		#####	#####
> 16 mm	0	0,0	50,000	98,4					#####	#####		#####	#####

Beregning eks:  $\% > 16 \text{ mm} = > 16 \text{ mm} * 100 / \text{vægt tør jord (+ 0,063 mm)}$

# SIGTEKURVE



—◆— 1857

## Resultater af Jord 5 - efter vask

Jord 5	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
<b>Sand</b> 0,063-2 mm	310	<5	100	170	39	460
	270	<5	100	140	27	270
	230	<5	93	120	<25	310
	46	<5	20	<25	<25	240
	31	<5	<10	<25	<25	290
	41	<5	14	<25	<25	380
	48	<5	13	31	<25	750
Gennemsnit	139	<5	52	171	27	386
Spredning	124	#####	45	60	8	177
<b>Organisk</b> 0,063-2 mm	53	<5	21	<25	<25	240
	40	<5	14	<25	<25	330
	330	<5	130	180	<25	330
	1400	8,2	550	690	140	430
	380	<5	140	210	30	3400
	560	<5	190	300	63	240
Gennemsnit	461	6	174	238	51	828
Spredning	502	#####	197	236	56	1262
<b>Finfraktion</b> < 0,063 mm	350	<5	130	180	32	1200
	260	<5	100	140	<25	1100
Gennemsnit	305	5	115	160	29	1150
Spredning	64	#####	21	28	#####	71

## Resultater af jord 5 - efter vask, vægtet efter fraktionens størrelse

Jord 5	Kornstørrelses-						
	fordeling	Tot.Kulb.	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40	Bly
Sand 0,063-2 mm	17,3	53,6	<0,9	17,3	29,4	6,7	79,6
	17,3	47	<0,9	17,3	24,2	4,7	46,7
	17,3	40	<0,9	16,1	20,8	<4,3	53,6
	17,3	8	<0,9	3,5	<4,3	<4,3	41,5
	17,3	5	<0,9	<1,7	<4,3	<4,3	50,2
	17,3	7	<0,9	2,4	<4,3	<4,3	65,7
	17,3	8	<0,9	2,2	5,4	<4,3	129,8
Gennemsnit	24		<0,9	9	13	5	60
Spredning	22			8	10	1	31
Organisk	32,4	17	<2	7	<8	<8	78
	32,4	13	<2	5	<8	<8	107
	32,4	107	<2	42	58	<8	107
	32,4	454	3	178	224	45	139
	32,4	123	<2	45	68	10	1102
	32,4	181	<2	62	97	20	78
Gennemsnit	149		2	56	77	17	268
Spredning	163			64	76	18	409
Finfraktion < 0,063 mm	26,2	92	<1	34	47	29	314
	26,2	68	<1	26	37	<17	288
Gennemsnit	80		<1	30	42	23	301
Spredning	17			6	7		19