MILJØMINISTERIET

Miljøstyrelsen

Håndtering af lettere forurenet jord

Konsekvensvurdering

Jette Bjerre Hansen, Ole Hjelmar,
Erik Aagaard Hansen, Anke Oberender
og Christian Grøn

DHI

Miljøprojekt Nr. 1287 2009

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 5

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER 7

SUMMARY AND CONCLUSIONS 17

1 INDLEDNING 27

1.1 BAGGRUND 27
1.2 FORMÅL 28
1.3 METODIK OG RAMMER FOR PROJEKTET 29
1.3.1 Faststofgrænseværdier for kategori 1-jord 29
1.3.2 Faststofgrænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran 32
1.3.3 Grænseværdier baseret på stofudvaskning 35
1.3.4 Nye jordkvalitetskriterier for kulbrinter i jord 35

2 KVALITETSKRITERIER FOR VAND OG JORD 37

3 OMREGNING AF UDVASKNINGSRESULTATER TIL POREVANDSKONCENTRATIONER 39

4 FASTSTOFGRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 1-JORD 41

4.1 DATAGRUNDLAG 41
4.1.1 Metaller 41
4.1.2 PAH-forbindelser 47
4.1.3 Kulbrinter opdelt i forskellige fraktioner 50
4.2 FORSLAG TIL GRÆNSEVÆRDIER - MODEL 1 55
4.3 FORSLAG TIL GRÆNSEVÆRDIER - MODEL 2 59
4.4 SUPPLERENDE BETRAGTNINGER 62

5 AFPRØVNING AF GRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 1-JORD 69

5.1 AFPRØVNING AF GRÆNSEVÆRDIER 69
5.2 SIMPEL KONSEKVENSVURDERING I FORHOLD TIL GRUNDVAND 70

6 FASTSTOFGRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 2-JORD VED BRUG AF MEMBRAN 75

6.1 EFFEKT AF ANVENDELSE AF BUNDMEMBRAN 75
6.2 KATEGORI 2-GRÆNSEVÆRDIER VED STØRST REDUKTION AF KILDESTYRKE 76
6.3 KATEGORI 2-GRÆNSEVÆRDIER VED MINDSTE REDUKTION AF KILDESTYRKE 77
6.4 FASTSTOFGRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 2-JORD UDLAGT PÅ MEMBRAN 83
6.5 OVERVEJELSE OG VURDERING VEDRØRENDE INFILTRATION 85

7 GENANVENDELSE AF KATEGORI 2-JORD UDEN MEMBRAN 87

7.1 GRUNDLAG FOR AT FASTSÆTTE VOLUMEN AF KATEGORI 2-JORD TIL GENANVENDELSE UDEN MEMBRAN 87

7.2 VURDERING AF ANLÆGSSTØRRELSER 91

8 GRÆNSEVÆRDIER BASERET PÅ STOFUDVASKNING 97

8.1 FORSLAG TIL GRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 1-JORD 97

8.2 FORSLAG TIL GRÆNSEVÆRDIER FOR KATEGORI 2-JORD 99

9 SUPPLERENDE UNDERSØGELSER 101

10 REFERENCER 103

Bilag A: Projektbeskrivelse

Bilag B: Vurdering af kappa-værdier for jord

Bilag C: Sammenligning mellem beregnede porevandskoncentrationer og observerede porevandskoncentrationer for 6 forskellige jordprøver

Bilag D: Udvaskningsdata som funktion af faststofindhold, pH-værdien i eluat er mellem seks og ni

Bilag E: Betydning af opløst organisk stof for udvaskning af Pb

Bilag F: Vurdering af grænseværdier baseret på stofudvaskning

Bilag G: Undersøgelse af beregningernes følsomhed overfor kappa (K)

Forord

Der skal udarbejdes et nyt regelsæt for genanvendelse af jord, som vil afløse den eksisterende Bekendtgørelse nr. 1480 af 12. december 2007 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder.

Ideelt set vil det være ønskeligt, at mest muligt af den jord, der forekommer i forbindelse med jordflytning, vil kunne genanvendes frit til bygge- og anlægsarbejder, dvs. uden krav i forhold til beskyttelse af grundvandet (defineres som kategori 1-jord). For den resterende del af jorden skal genanvendelse gennemføres i projekter med krav til dimensioner, indretning osv., der sikrer, at grundvandet i tilstrækkelig grad er beskyttet (defineres som kategori 2-jord). Den jord, som ikke kan genanvendes, enten fordi efterspørgslen ikke er tilstrækkelig, eller fordi den ikke opfylder grænseværdierne, skal renses eller deponeres.

Til de nye regler om genanvendelse af jord er der derfor behov for at opstille kriterier for, hvornår jord kan betragtes som hhv. kategori 1- og kategori 2-jord. Det er Miljøstyrelsens ønske, at sådanne kriterier så vidt muligt skal formuleres i form af grænseværdier baseret på faststofindholdet af udvalgte forureningsstoffer i jord.

Nærværende projekt skal ses som en del af et arbejde, der omfatter to rapporter, som tidligere er udarbejdet af DHI (DHI 2007, 2008).

Denne rapport indeholder tre hoveddele:

Del 1: Fastsættelse af faststofbaserede grænseværdier for kategori 1-jord
Del 2: Fastsættelse af faststofbaserede grænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran
Del 3: Opstilling af grænseværdier baseret på udvaskningstest

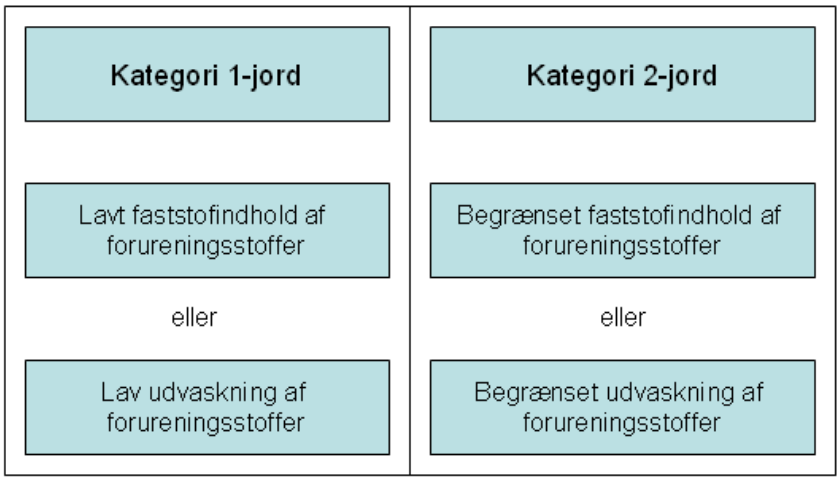
Projektbeskrivelsen, som er udformet af Miljøstyrelsen, er vedlagt i Bilag A.

Projektet har været fulgt af en styregruppe med følgende medlemmer:
Ulla Højsholt, Miljøstyrelsen (kontaktperson)
Arne Rokkjær, (Miljøstyrelsen indtil 1-1-2008)
Lene Søe Højberg (Miljøstyrelsen)
Jørgen G. Hansen, Miljøstyrelsen
Karsten Ludvigsen, RGS 90
Jens Arre Nord, RGS 90
René Møller Rosendal, RenoSam
Per Brask, Oliebranchens Miljøpulje
Eric Farley, Herning Kommune

Projektet er udført af:
Jette Bjerre Hansen, DHI (kontaktperson)
Ole Hjelmar, DHI
Erik Aagaard Hansen, DHI
Anke Oberender, DHI
Christian Grøn, DHI (QA)

Sammenfatning og konklusioner

Miljøstyrelsen ønsker at regulere genanvendelse af jord ved at inddele jorden i kategorier baseret enten på faststofindholdet af forureningsstoffer eller på udvaskeligheden af forureningsstoffer fra jorden, se figur 0.1.



Figur 0.1
Inddeling af jord til genanvendelse i to kategorier.

Kategori 1-jord, som har det laveste indhold eller udvaskelighed af forureningsstoffer, skal i videst muligt omfang kunne anvendes frit til bygge- og anlægsarbejder. Kategori 2-jord, som er lettere forurenet jord, skal kunne anvendes i bygge- og anlægsarbejder under anvendelse af en bundmembran for større anlægsprojekter eller for mindre projekter under nærmere definerede omstændigheder.

Projektet er opdelt i tre delprojekter:

1. Fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord baseret på faststofindhold af forureningsstoffer.
2. Fastsættelse af faststofgrænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran. Bestemmelse af dimensioner ved genanvendelse af jord uden membran.
3. Fastsættelse af grænseværdier for kategori 1 og 2-jord baseret på udvaskeligheden af forureningsstoffer.

Grænseværdierne er i dette arbejde alene baseret på hensynet til beskyttelse af grundvandet. Udgangspunktet for arbejdet har været det datamateriale, som i to tidligere projekter (DHI 2007, 2008) er indsamlet. Datamaterialet består af sammenhørende værdier for faststofindhold og udvaskning af en række forureningsstoffer fra jord.

Metodik, resultater og konklusioner er i det følgende opsummeret for hvert enkelt delprojekt.

Faststofgrænseværdier for kategori 1-jord

Grænseværdier for kategori 1-jord skal kunne yde en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet ved fri genanvendelse af jorden i bygge- og anlægsarbejder. Dette vil være opfyldt, såfremt koncentrationen af forureningsstoffer i jordens porevand vil kunne overholde grundvandskvalitetskriterierne.

Som udgangspunkt var det et ønske fra Miljøstyrelsens side, at jordkvalitetskriterierne skulle kunne anvendes som grænseværdier for kategori 1-jord. Der blev derfor for udvalgte parametre gennemført en analyse, hvor forventede stofkoncentrationer i porevand fra de indsamlede jordprøver blev sammenlignet med grundvandskvalitetskriterierne. Det blev herefter vurderet, om porevandet i jordprøver med et faststofindhold mindre end eller lig med jordkvalitetskriterierne kunne forventes at overholde grundvandskvalitetskriterierne.

De forventede porevandskoncentrationer blev beregnet på baggrund af resultater fra udvaskningstest, idet porevand antages at forekomme ved et væske faststofforhold svarende til 0,27 l/kg.

Det blev bestemt, at grænseværdien for faststofindholdet skulle fastsættes, således at hovedparten af jordprøverne med et faststofindhold mindre end grænseværdien havde en estimeret porevandskoncentration, der overholdt grundvandskvalitetskriteriet. Konkret blev dette udmøntet i følgende krav:

Model 1:

> Den estimerede porevandskoncentration for 85% af jordprøverne skulle være mindre end grundvandskriteriet, og for 100% af jordprøverne skulle porevandskoncentrationen være mindre end 10 gange grundvandskvalitetskriteriet.

For hver enkelt parameter, der indgik i undersøgelsen, blev det vurderet, om jordkvalitetskriteriet kunne opfylde kravene i model 1. Såfremt det ikke var tilfældet, blev der om muligt fastsat et nyt forslag til grænseværdi for kategori 1-jord. For uorganiske stoffer viste det sig, at det var nødvendigt at opstille et supplerende krav til, at pH-værdien i jordvæsken ikke må være mindre end seks eller større end ni. Tabel 0.1 giver en samlet oversigt over, for hvilke parametre jordkvalitetskriteriet kunne opfylde kravene i model 1.

Tabel 0.1
Samlet vurdering af jordkvalitetskriteriet (JKK) som grænseværdi for kategori 1-jord efter model 1.

JKK opfylder kravene i model 1	Grænseværdi sat lavere end JKK for at opfylde kravene i model 1	Ingen forslag til grænseværdi, fordi kravene i model 1 ikke kan opfyldes
Cu Hg	As Cd Cr Ni Zn	Pb
benz(a)pyren,	Sum af PAH, naphthalen, dibenz(a,h)anthracen,	Kulbrintefraktionerne: C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20}, C_{20}-C_{40}

På baggrund af vurderingen blev det konkluderet, at jordkvalitetskriterierne kun for få parametre ville kunne anvendes som grænseværdier for kategori 1-jord. Det blev endvidere konstateret, at det ikke var muligt at foreslå nye grænseværdier for Pb samt kulbrintefraktionerne, som ville kunne opfylde kravene i model 1. Dette skyldtes, at uanset hvor lav grænseværdien blev sat, var der mere end 15% af jordprøverne, der overskred grundvandskvalitetskriterierne.

Der var derfor behov for at gennemføre en ny vurdering baseret på en mindre restriktiv model, hvis man fortsat ønskede grænseværdi for kategori 1-jord fastsat på baggrund af den anvendte tilgang. Ved revurdering af jordkvalitetskriterierne som mulige grænseværdier for kategori 1-jord ønskedes model 2 nu anvendt.

Model 2:

> Den estimerede porevandskoncentration for 75% af jordprøverne skulle være mindre end grundvandskriteriet, og for 95% af jordprøverne skulle porevandskoncentrationen være mindre end 10 gange grundvandskvalitetskriteriet.

Vurdering af datamaterialet i forhold til model 2 blev kun foretaget på det datamateriale, som opfyldte kravet til pH-værdien i jordvæsken (6<pH<9). Tabel 0.2 giver en samlet oversigt over, for hvilke parametre jordkvalitetskriteriet kunne opfylde kravene i model 2.

Tabel 0.2
Samlet vurdering af jordkvalitetskriteriet (JKK) som grænseværdi for kategori 1-jord efter model 2.

JKK opfylder kravene i model 2	Grænseværdi sat lavere end JKK for at opfylde kravene i model 2	Ingen forslag til grænseværdi, fordi kravene i model 2 ikke kan opfyldes
As Cd Cr Cu Hg Ni Zn		Pb
Sum af PAH, naphthalen, benz(a)pyren, dibenz(a,h)anthracen	Kulbrintefraktionerne: C_{20}-C_{40}	Kulbrintefraktionerne: C_6-$C_{10,}$ C_{10}-$C_{15,}$ C_{15}-C_{20}

Jordkvalitetskriterierne opfyldte for en række af parametre kravene i model 2, og men for kulbrintefraktionen C_{20}-C_{40} var det dog nødvendigt at fastsætte en lavere grænseværdi. For de øvrige kulbrinte fraktioner kunne der ikke fastsættes en grænseværdi, som opfyldte model 2. For Pb var det fortsat ikke muligt at fastsætte et forslag til grænseværdi, der kunne opfylde kravene i model 2.

Bly er et tungmetal, der under normale omstændigheder (dvs. ved neutral pH-værdi og naturlig DOC-indhold i jordvæsken) tilbageholdes kraftigt i jorden, hvorved mobiliteten er lav. For Pb kunne det derfor være rimeligt at fastsætte en grænseværdi, som inddrager stoffets fysiske og kemiske egenskaber ved udvaskning og transport i jord. Der blev gennemført en vurdering af muligheden for at fastsætte en grænseværdi for Pb baseret på scenarieberegninger, som beskrevet i DHI (2007). Vurderingen indebar, at grundvandskvalitetskriteriet skulle være overholdt i et punkt 30 m nedstrøms genanvendelsen. Under forudsætning af, at genanvendelsesprojektets dimensioner ikke oversteg 100 m i længde i grundvandets strømningsretning og 5 m i højde, kunne en grænseværdi for Pb på 10 mg/kg TS sikre, at porevandskoncentrationen af Pb for alle jordprøver overholdt grundvandskvalitetskriteriet 30 m nedstrøms. Under antagelse af, at forudsætningerne for model 2 er acceptable, kunne der opstilles forslag til grænseværdier for kategori 1-jord, som vist i tabel 0.3.

Tabel 0.3
Forslag til grænseværdier for kategori 1-jord, der opfylder kravene i model 2 (dog med undtagelse af Pb, se ovenstående tekst).

Parameter	Forslag til grænseværdier for kategori 1-jord mg/kg TS	Supplerende krav, som skal være opfyldt, for at grænseværdier for kategori 1-jord kan anvendes
As	20	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Ba	Kan sættes frit	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cd	0,5	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cr	500	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cu	500	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Hg	1	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Ni	30	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Pb	10	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0 Dimensioner på genanvendelsesprojekt må ikke overstige 100 m i længde og 5 m i højde
Zn	500	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Sum af PAH	4	
Naphthalen	0,5	-
Benz(a)pyren	0,3	-
Dibenz(a,h)anthracen	0,3	-
Kulbrinter (officielle pr. 7/1-2008)		
Sum af C_6-C_{40}	130[a]	-
C_6-C_{10}	10[b]	-
C_{10}-C_{15}	< 10[b]	-
C_{15}-C_{20}	< 10[b]	-
C_{20}-C_{40}	130[c]	-

[a]: Ikke fastsat på baggrund af udvaskningsdata for sum af kulbrinter, men på baggrund af udvaskningsdata for fraktionerne. Både denne grænseværdi og grænseværdierne for fraktionerne skal være overholdt.
[b]: Forslag til grænseværdi er lig den analytiske detektionsgrænse. For C_6-C_{10} er den analytiske detektionsgrænse dog lavere, men vurderingsprincippet tillader den foreslåede grænseværdi.
[c]: Vurderingen blev foretaget på kun otte prøver.

Med udgangspunkt i en database med faststofanalyser for 6.320 jordprøver blev der foretaget en undersøgelse af, hvor stor en procentdel af disse jorde, der ville overholde de foreslåede grænseværdier for kategori 1-jord. Dog var det på grund af ændret analysemetode og fraktionsopdeling for kulbrinterne ikke muligt at inddrage disse i vurderingen. På grundlag af analyseresultaterne for Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, sum af PAH, benz(a)pyren og dibenz(a)anthracen ville ca. 60% af datasættende i databasen overholde de foreslåede grænseværdier for kategori 1- jord. Hvis den foreslåede grænseværdi for Pb på 10 mg/kg TS blev inkluderet i vurderingen, ville ca. 13% af jordene blive klassificeret som kategori 1-jord.

Grundlaget for at fastsætte grænseværdier for kategori 1-jord indebar, at det blev accepteret, at op til 25% af jord til genanvendelse i kategori 1 overskred grundvandskvalitetskriterierne. Der blev derfor gennemført en simpel og konservativ vurdering af, hvilke konsekvenser dette kunne medføre i forhold til grundvandskvaliteten. Det blev antaget, at op til ca. 15% af et areal i et grundvandsopland kunne risikere at blive dækket med kategori 1-jord i forbindelse med genanvendelse. Vurderingen viste, at påvirkningen af grundvandskvaliteten var mellem 20 og 86% af grundvandskvalitetskriteriet

afhængig af, hvilket stof der var tale om. Den største påvirkning på 86% kom fra Zn. For de fleste parametre ville genanvendelse af kategori 1-jord i det valgte scenarie betyde en forøgelse af grundvandskoncentrationen på mellem 30 og 45% i forhold til grundvandskvalitetskriteriet.

Faststofgrænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran

Grænseværdier for kategori 2-jord, der tænkes udlagt på en bundmembran, skal kunne sikre, at når membranen ophører med at fungere, overholder stofkoncentrationen i porevandet fra den genanvendte jord grundvandskvalitetskriterierne. Model 2 blev anvendt til at fastsætte, hvornår grundvandskvalitetskriterierne kunne siges at være overholdt.

Ved anvendelse af en bundmembran vil den dannede perkolat i en årrække blive opsamlet og bortledt/behandlet. Dette vil medføre en reduktion i kildestyrken, således at når perkolatet tillades at nedsive til grundvandet, vil stofbelastningen være reduceret.

Reduktionen i stofbelastningen blev beregnet for otte forskellige scenarier, og på baggrund af det scenarium, som gav den mindste reduktion, blev det vurderet, om Miljøstyrelsens forslag til grænseværdier for kategori 2-jord (DHI 2007) kunne sikre en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet, når membranen ophører med at fungere. Såfremt dette ikke var tilfældet, blev der foreslået en ny men lavere grænseværdi, som kunne sikre, at grundvandskvalitetskriterierne ikke overskrides, jf. kravene i model 2. Tabel 0.4 indeholder de forslag til grænseværdier for kategori 2-jord, som opfylder kravene i model 2.

Tabel 0.4
Forslag til grænseværdier for kategori 2-jord anbragt på membran.
Grænseværdierne opfylder kravene i model 2.

Parameter	Forslag til grænseværdier for kategori 2-jord mg/kg TS	Supplerende krav, som skal være opfyldt for at grænseværdier for kategori 1-jord kan anvendes
As	20	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Ba	500	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cd	5	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cr	1.000	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Cu	1.000	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Hg	3	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Ni	30	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Pb	-	Grænseværdien for Pb kan fastsættes efter samme princip som anvendt for kategori 1-jord
Zn	1.000	pH-værdien i jordvæsken skal være mellem 6,0 og 9,0
Sum af PAH		
Naphthalen	1,5	-
Benz(a)pyren	3	-
Dibenz(a,h)anthracen	3	-
Kulbrinter (officielle pr. 7/1-2008)		
Sum af C_6-C_{40}	130[a]	-
C_6-C_{10}	25	-
C_{10}-C_{15}	< 10	-
C_{15}-C_{20}	15	-
C_{20}-C_{40}	130[b]	-

[a]: Ikke fastsat på baggrund af udvaskningsdata for sum af kulbrinter, men på baggrund af udvaskningsdata for fraktionerne. Både denne grænseværdi og grænseværdierne for fraktionerne skal være overholdt.
[b]: Vurderingen blev foretaget på kun otte prøver.

Vurdering af anlægsdimensioner ved genanvendelse af kategori 2-jord uden membran

Det blev herefter vurderet, om man ved at opstille krav til anlægsdimensioner kunne tillade genanvendelse af en mindre mængde kategori 2-jord uden membran.

Anlægsdimensionen blev vurderet ud fra, at den forventede stofkoncentration i en afstand af 30 m fra genanvendelseslokaliteten (POC=30 m) skulle kunne overholde grundvandskvalitetskriterierne. I vurderingerne betød dette, at 100% af jordprøverne skulle have en stofkoncentration i POC=30 m, som ikke overskred grundvandskvalitetskriterierne.

Vurderingen er baseret på modelberegninger foretaget for otte forskellige scenarier med varierende anlægsstørrelser. For hvert scenarium blev den reducerende effekt af transport, tilbageholdelse og fortynding beregnet for hver forureningsparameter. På baggrund heraf blev det vurderet, at selv for en anvendelse af kun ca. 100 tons jord med anlægsstørrelse på 4x4x4 m kunne faststofgrænseværdierne for kategori 2-jord ikke sikre, at grundvandskvalitetkriterierne 30 m nedstrøms var overholdt. Det blev skønnet, at en anlægsstørrelse på 3x3x3 m ville kunne opfylde kravene.

Grænseværdier for genanvendelse af jord baseret på stofudvaskning

Som et alternativ til at bruge grænseværdier, der er baseret på faststofindhold af forureningsstoffer, blev der opstillet grænseværdier for stofudvaskning, som svarer til betingelserne for at opstille de faststofbaserede grænseværdier for hhv. kategori 1- og 2-jord. I tabel 0.5 ses grænseværdier for kategori 1-jord baseret på stofudvaskning.

Tabel 0.5
Grænseværdier for kategori 1-jord baseret på udvaskningstest. Grænseværdierne skal suppleres med et krav om, at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	**Grundvands-kvalitetskriterium** mg/l	**Grænseværdi for kategori 1-jord Udvasket mængde** mg/kg TS
Testmetode: EN 12457-1 (L/S = 2l/kg)		
As	0,008	0,015
Ba	0,7	1,1
Cd	0,0005	0,00042
Cr, total	0,025	0,037
Cu	0,1	0,12
Hg	0,0001	0,00018
Mo	0,02	0,022
Ni	0,01	0,012
Pb	0,001	0,0013
Sb	0,002	0,0033
Se	0,01	0,010
Zn	0,1	0,12
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI) (L/S = ca. 1 l/kg)		
Sum af PAH	0,0002	0,0002
Naphthalen	0,001	0,001
Benz(a)pyren	0,00001	0,00001
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,00001
Sum af kulbrinter	0,009	0,009
C_6-C_{10}	0,009	0,007
C_{10}-C_{15}	0,009	0,009
C_{15}-C_{20}	0,009	0,009
C_{20}-C_{40}	0,009	0,009

I tabel 0.6a og 0.6b ses grænseværdier baseret på stofudvaskning for kategori 2-jord. Grænseværdierne blev fastsat for kategori 2-jord ved genanvendelse uden membran. Grænseværdierne varierer derfor afhængig af størrelsen på genanvendelsesprojektet.

Tabel 0.6a
Grænseværdier for anvendelse af kategori 2-jord uden membran, baseret på udvaskningstests. Grænseværdierne suppleres af et krav om, at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	Model A	Model B	Model C	Model D
	10x140x140	10x100x100	10x60x60	10x32x32
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Testmetode: EN 12457-1, L/S = 2l/kg				
As	0,048	0,060	0,085	0,14
Ba	4,6	5,5	7,5	12
Cd	0,0050	0,0053	0,0064	0,0094
Cr, total	0,21	0,24	0,32	0,51
Cu	2,6	2,6	2,8	3,7
Hg	0,00067	0,00082	0,0012	0,0019
Mo	0,16	0,18	0,23	0,350
Ni	0,085	0,095	0,12	0,19
Pb	0,024	0,025	0,026	0,035
Sb	0,012	0,015	0,021	0,035
Se	0,056	0,066	0,092	0,15
Zn	0,86	0,96	1,2	1,9
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI), L/S = ca. 1 l/kg				
Sum af PAH	0,00061	0,00077	0,0011	0,0019
Naphthalen	0,0030	0,0037	0,0054	0,0093
Benz(a)pyren	0,000030	0,000039	0,000056	0,00010
Dibenz(a,h)anthracen	0,000030	0,000039	0,000056	0,00010
Sum af kulbrinter				
C_6-C_{10}	0,024	0,030	0,043	0,074
C_{10}-C_{15}	0,027	0,035	0,050	0,086
C_{15}-C_{20}	0,027	0,035	0,050	0,086
C_{20}-C_{40}	0,027	0,035	0,050	0,086

Tabel 0.6b
Grænseværdier for anvendelse af kategori 2-jord uden membran, baseret på udvaskningstests. Grænseværdierne suppleres af et krav om at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	Model E	Model F	Model G	Model H
	10x12x12	8x8x8	5x100x100	4x4x4
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Testmetode: EN 12457-1, L/S= 2l/kg				
As	0,35	0,51	0,064	1,2
Ba	29	45	6,5	110
Cd	0,021	0,034	0,0084	0,097
Cr, total	1,2	1,9	0,32	4,8
Cu	7,7	13	4,7	42
Hg	0,0048	0,0072	0,00091	0,017
Mo	0,83	1,3	0,25	3,4
Ni	0,44	0,68	0,14	1,3
Pb	0,073	0,12	0,044	0,39
Sb	0,086	0,13	0,016	0,31
Se	0,37	0,56	0,079	1,4
Zn	4,5	7,0	1,4	19
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI), L/S = ca. 1 l/kg				
Sum af PAH	0,0048	0,0071	0,00077	0,016
Naphthalen	0,023	0,034	0,0038	0,078
Benz(a)pyren	0,00024	0,00036	0,000039	0,00081
Dibenz(a,h)anthracen	0,00024	0,00036	0,000039	0,00081
Sum af kulbrinter				
C_6-C_{10}	0,18	0,28	0,030	0,64
C_{10}-C_{15}	0,21	0,32	0,035	0,72
C_{15}-C_{20}	0,21	0,32	0,035	0,72
C_{20}-C_{40}	0,21	0,32	0,035	0,72

Summary and conclusions

This report presents the results of a project conducted by DHI on behalf of the Danish EPA. The study is based on the results obtained in previous studies reported in:

- DHI (2007) Håndtering af lettere forurenet jord. Slutrapport juni 2007.
- DHI (2008) Håndtering af lettere forurenet jord – supplerende data for udvaskning af uorganiske og organiske stoffer fra jord. Slutrapport februar 2008.

The Danish EPA has laid out the framework for this project, as seen in Annex A (in Danish).

The Danish EPA wish to regulate the re-use of soil by dividing the soil into two categories based on either the solid content of contaminants or the leaching of contaminants, as illustrated in Figure 0.1.

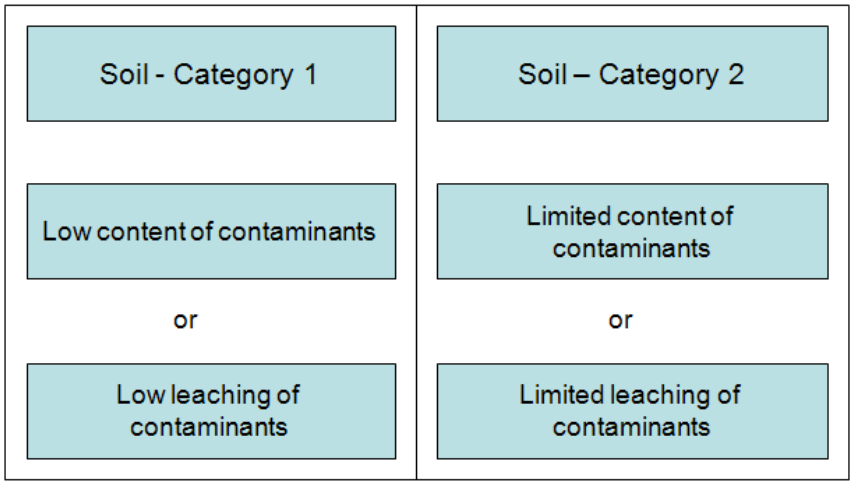


Figure 0.1.
Definition of categories of soil for re-use.

The classification of soil can be based either on solid content or on leaching of contaminants. Soil classified as category 1 should be free for re-use in construction work without any additional restrictions. Soil classified as category 2 should be re-used in construction work under specified conditions.

This project is divided into three main parts:
1. Determination of limit values based on solid content for category 1.
2a. Determination of limit values based on solid content for category 2 when reused on a bottom liner.
2b. Evaluation of project sizes using soil classified as category 2 without a membrane.
3. Determination of limit values based on leaching for category 1 and 2.

The limit values calculated in this study are solely based on considerations concerning the protection of groundwater. The data collected in previous work, consisting of both solid content and leaching results (DHI 2007, 2008), constitute the basis of this study. The methods, results and conclusions are summarised for each part below.

Limit values based on solid content – category 1.

Limit values for category 1 must provide sufficient protection of the groundwater when re-using soil classified in this category. This is fulfilled if the concentrations of contaminants in the soil pore water do not exceed the groundwater quality criteria.

As a starting point, the Danish EPA has proposed the Danish soil quality criteria as limit values for category 1. For selected contaminants, it was evaluated if the concentrations of the contaminants in pore water could be expected to be lower or equal to the groundwater quality criteria.

Based on the results obtained from leaching test conducted on a number of different soils (DHI 2007, 2008), the pore water concentrations were calculated for each soil and each contaminant, assuming that the L/S ratio of 0.27 l/kg represents pore water.

It was decided by the Danish EPA that the proposed limit values should be evaluated allowing a minor part of the collected data to exceed the groundwater quality criteria. This was formulated in the following decision model:

Model 1:

> The pore water concentration must be lower than the groundwater quality criteria for 85% of the data. The pore water concentration must be lower than 10 times the groundwater quality criteria for 100% of the data.

This model was tested for the following parameters:

> As, Cd, Cr(total), Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, naphthalene, benz(a)pyrene, dibenz(a,h)anthracene and Sum of 7-PAH, hydrocarbons (C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20}, C_{25}-C_{40}).

If the data for a given parameter could not fulfil the requirements in model 1, a lower limit value that meets the requirements was suggested (if possible). As regards inorganic compounds, the evaluation showed that it was necessary to add a supplementary requirement to the limit values based on the pH-value in the pore water. Thus, all data with pH below six and above nine in the eluates from the leaching test were removed from the data collection. Table 0.1 provides an overview of the results from the evaluation of soil quality criteria using model 1.

Table 0.1
Evaluation of soil quality criteria (JKK) as limit values for category 1. The evaluation is based on model 1.

JKK fulfil the requirements in model 1	Limit values lower than JKK in order to fulfil the requirements in model 1	No limit value proposed
Cu Hg	As Cd Ni Zn	Pb
benz(a)pyrene,	Sum of PAH, naphthalene, dibenz(a,h)anthracene,	C_6-$C_{10,}$ C_{10}-$C_{15,}$ C_{15}-$C_{20,}$ C_{20}-C_{40}

As shown in table 0.1, the soil quality criteria fulfilled the requirements in model 1 only for a few compounds. It was not possible to find lower limit values that fulfilled the requirements for Pb and the hydrocarbons.

The Danish EPA decided to re-evaluate the soil quality criteria as limit values for category 1 using a less restrictive model;

Model 2

The pore water concentration must be lower than the groundwater quality criteria for 75% of the data. The pore water concentration must be lower than 10 times the groundwater quality criteria for 95% of the data.

The results of the re-evaluation are shown in table 0.2.

Table 0.2
Evaluation of soil quality criteria (JKK) as limit values for category 1. The evaluation is based on model 2.

JKK fulfil the requirements in model 1	Limit values lower than JKK in order to fulfil the requirements in model 1	No limit value proposed
As Cd Cu Hg Ni Zn		Pb
Sum of PAH, naphthalene, benz(a)pyrene, dibenz(a,h)anthracene	C_{20}-C_{40}	C_6-$C_{10,}$ C_{10}-$C_{15,}$ C_{15}-C_{20}

The re-evaluation of the data using the soil quality criteria as limit values showed that the requirements in model 2 were fulfilled for most of the components, except for Pb and the hydrocarbons. For the fraction C_{20}-C_{40}, a limit value lower than the soil quality criteria was suggested but for the other fractions of hydrocarbons and Pb, it was not possible to fulfil the requirement in model 2 at all. For the fractions of hydrocarbons (C_6-$C_{10,}$ C_{10}-$C_{15,}$ C_{15}-C_{20}), this

resulted in the proposal of limit values equal to the analytical detection limits. For Pb, a different approach for setting a limit value was needed.

Lead is a heavy metal which is strongly retarded in soil due to precipitation and sorption and thus the mobility of this metal in soil is generally low. Therefore, it would be reasonable to include these physical and chemical properties of the metal when setting up limit values for protection of groundwater. Based on model calculations performed in a previous study (DHI 2007), a limit value at 10 mg/kg TS could be proposed for Pb on condition that the dimensions of the construction work do not exceed 100 m in length and 5 m in height. If this condition is met, the groundwater quality will be unaffected at a distance of 30 m from the construction work.

Assuming that the conditions laid out in model 2 are acceptable, the soil quality criteria can be used as limit values for category 1 for most of the components. It was necessary to set up limit values lower than the soil quality criteria only for the hydrocarbons and for Pb. Table 0.3 shows the proposals for category 1 limit values.

Table 0.3
Category 1 limit values fulfilling the requirements in model 2 - except for Pb. The limit value suggested for Pb is based on model calculations allowing for retardation and dilution.

Compound	**Limit values - Category 1** mg/kg TS	**Additional requirements**
As	20	pH in pore water: 6 < pH< 9
Ba	Can be set freely	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cd	0.5	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cr	500	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cu	500	pH in pore water: 6 < pH< 9
Hg	1	pH in pore water: 6 < pH< 9
Ni	30	pH in pore water: 6 < pH< 9
Pb	10	pH in pore water: 6 < pH< 9 Dimensions on project re-using soil classified as category 1: length max. 100 m and height max 5 m
Zn	500	pH in pore water: 6 < pH< 9
Sum of PAH	4	
Naphthalene	0.5	-
Benz(a)pyrene	0.3	-
Dibenz(a,h)anthracene	0.3	-
Hydrocarbons		
Sum of C_6-C_{40}	130[a]	-
C_6-C_{10}	10[b]	-
C_{10}-C_{15}	< 10[b]	-
C_{15}-C_{20}	< 10[b]	-
C_{20}-C_{40}	130[c]	-

[a]: Limit value not based on leaching data but equal to the limit value of the fraction C_{20} – C_{40}.
[b]: Proposal for limit values equal to analytical detection limit. For C_6-$C_{10,}$ the analytical detection limit may be lower sometimes, but the limit value for this fraction is suggested to be 10 mg/kg TS.
[c]: The evaluation is based on very few data – only 8 soil samples.

Based on a database of solid content analyses for 6320 soil samples, it was calculated what percentage of these soils would comply with the proposed limit values for category 1 soil. However, it was not possible to evaluate the limit values suggested for the hydrocarbons as the analytical method had recently been changed. Based on the analysis results for Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, sum of PAH, benz(a)pyrene and dibenz(a,h)anthracene, approx. 60% of the soil samples would be classified as category 1. If the suggested limit value for Pb (10 mg/kg TS) was included, approx. 13% of the soil samples would belong to category 1.

Based on model 2 for setting and evaluating the limit values for category 1, it was accepted that up to 25% of the soil sample data exceeded the groundwater quality criteria, and for 5% of the data, the excess could be more than 10 times the groundwater quality criteria. Therefore, a simple and conservative evaluation of the consequences of this model was conducted. It was assumed that up to 15% of an area could be covered by re-used soil classified as category 1. The results of the evaluation showed that the groundwater quality was affected by an order of 20 – 86% of the groundwater quality criteria, with the highest impact coming from Zn.

Limit values based on solid content – category 2. Re-use on bottom liners

Soil classified as category 2 may be re-used in construction work using a bottom liner. For this purpose, limit values are set up. These limit values must provide sufficient protection of groundwater, also when the functionality of the bottom liner is lost. Thus, the concentration of contaminants in pore water from the soil must not exceed the groundwater quality criteria when the bottom liner ceases to function.

During the active phase of a bottom liner, leachate will be collected and disposed of and when the functionality of the bottom liner is lost, the source term will be reduced.

The reduction in source term was calculated for eight different scenarios of re-use of soils on bottom liners. The scenario providing the lowest reduction in source term was used for evaluation of the category 2 limit values proposed by the Danish EPA. The limit values were evaluated on the basis of model 2, taking into account the source term reduction with time for each contaminant in question. New and lower limit values were proposed in case the requirements in model 2 could not be fulfilled. Table 0.4 lists the proposed limit values for category 2 soil re-used on a bottom liner.

Table 0.4
Proposed category 2 limit values. The limit values can be applied only to re-use of soil on a bottom liner.

Compound	Limit values - Category 2 mg/kg TS	Additional requirements
As	20	pH in pore water: 6 < pH< 9
Ba	500	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cd	5	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cr	1,000	pH in pore water: 6 < pH< 9
Cu	1,000	pH in pore water: 6 < pH< 9
Hg	3	pH in pore water: 6 < pH< 9
Ni	30	pH in pore water: 6 < pH< 9
Pb	-	The same principles as used for category 1 must be applied
Zn	1,000	pH in pore water: 6 < pH< 9
Sum of PAHs		
Naphthalene	1.5	-
Benz(a)pyrene	3	-
Dibenz(a,h)anthracene	3	-
Hydrocarbons		
Sum of C_6-C_{40}	130[a]	-
C_6-C_{10}	25	-
C_{10}-C_{15}	< 10	-
C_{15}-C_{20}	15	-
C_{20}-C_{40}	130[b]	-

[a]: Limit value not based on leaching data but equal to the limit value of the fraction C_{20} – C_{40}.
[b]: The evaluation is based on very few data – only 8 soil samples.

Re-use of soil classified as category 2 without bottom liner

Based on the limit values proposed for category 2, it is tested whether it is possible to re-use a smaller amount of soil without using a bottom liner. The dimensions of construction projects were evaluated based on model calculations taking account of transport of contaminants (including sorption and dilution) and with point of compliance (POC) 30 m downstream from the project. It was decided that at POC = 30 m, 100 % of the data collected for different soil samples must fulfil the groundwater quality criteria. Based on these requirements for re-use of soil without bottom liner, only projects with dimensions less than 4x4x4 m could be allowed, as larger projects could not fulfil the placed requirement.

Limit values based on leaching – Category 1 and 2

As an alternative to using limit values based on solid content analyses, limit values for both category 1 and 2 can be defined based on leaching of contaminants from the soil.

Leaching-based limit values calculated based on the proposal for category 1 are shown in Table 0.5. The intention is that the level of protection of the groundwater should be identical for both types of limit values (solid-content-based and leaching-based). However, the leaching-based limit values are determined directly on the basis of the groundwater quality criteria and they do not include a certain percentage of soil samples that exceed the groundwater quality criteria. Thus, the limit values based on leaching are in

fact stricter than the values based on solid content. This can, however, be compensated when accepting soil for re-use in a certain project.

Table 0.5
Category 1 limit values based on leaching tests. The limit values must be supplemented with a requirement for a pH value in eluates of between 6 and 9.

Parameter	Groundwater quality criteria mg/l	Limit value for category 1 Leached amount mg/kg DW
Test method: EN 12457-1 (L/S = 2 l/kg)		
As	0.008	0.015
Ba	0.7	1.1
Cd	0.0005	0.00042
Cr, total	0.025	0.037
Cu	0.1	0.12
Hg	0.0001	0.00018
Mo	0.02	0.022
Ni	0.01	0.012
Pb	0.001	0.0013
Sb	0.002	0.0033
Se	0.01	0.010
Zn	0.1	0.12
Test method: Equilibrium column test (M22-1 DHI) (L/S = ca. 1 l/kg)		
Sum of PAH	0.0002	0.0002
Naphthalene	0.001	0.001
Benz(a)pyrene	0.00001	0.00001
Dibenz(a,h)anthracene	0.00001	0.00001
Sum of hydrocarbons	0.009	0.009
C_6-C_{10}	0.009	0.007
C_{10}-C_{15}	0.009	0.009
C_{15}-C_{20}	0.009	0.009
C_{20}-C_{40}	0.009	0.009

Tables 0.6a and 0.6b present calculated leaching-based limit values for category 2 without using a bottom liner. These limit values depend on the dimensions of the project and the dimensions of the re-use project must not exceed these dimensions.

Table 0.6a
Category 2 limit values based on leaching tests. The limit values are supplemented with a requirement for a pH value in eluates of between 6 and 9. The limit values can be applied to re-use of soil without using bottom liner.

Parameter	Model A	Model B	Model C	Model D
	10x140x140	10x100x100	10x60x60	10x32x32
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Test method: EN 12457-1, L/S= 2 l/kg				
As	0.048	0.060	0.085	0.14
Ba	4.6	5.5	7.5	12
Cd	0.0050	0.0053	0.0064	0.0094
Cr, total	0.21	0.24	0.32	0.51
Cu	2.6	2.6	2.8	3.7
Hg	0.00067	0.00082	0.0012	0.0019
Mo	0.16	0.18	0.23	0.350
Ni	0.085	0.095	0.12	0.19
Pb	0.024	0.025	0.026	0.035
Sb	0.012	0.015	0.021	0.035
Se	0.056	0.066	0.092	0.15
Zn	0.86	0.96	1.2	1.9
Test method: Equilibrium column (M22-1 DHI), L/S approx. 1 l/kg				
Sum of PAH	0.00061	0.00077	0.0011	0.0019
Naphthalene	0.0030	0.0037	0.0054	0.0093
Benz(a)pyrene	0.000030	0.000039	0.000056	0.00010
Dibenz(a,h)anthracene	0.000030	0.000039	0.000056	0.00010
Sum of hydrocarbons				
C_6-C_{10}	0.024	0.030	0.043	0.074
C_{10}-C_{15}	0.027	0.035	0.050	0.086
C_{15}-C_{20}	0.027	0.035	0.050	0.086
C_{20}-C_{40}	0.027	0.035	0.050	0.086

Table 0.6b
Category 2 limit values based on leaching tests. . The limit values are supplemented with a requirement for a pH value in eluates of between 6 and 9. The limit values can be applied to re-use of soil without using bottom liner.

Parameter	Model E	Model F	Model G	Model H
	10x12x12	8x8x8	5x100x100	4x4x4
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Test method: EN 12457-1, L/S= 2 l/kg				
As	0.35	0.51	0.064	1.2
Ba	29	45	6.5	110
Cd	0.021	0.034	0.0084	0.097
Cr, total	1.2	1.9	0.32	4.8
Cu	7.7	13	4.7	42
Hg	0.0048	0.0072	0.00091	0.017
Mo	0.83	1.3	0.25	3.4
Ni	0.44	0.68	0.14	1.3
Pb	0.073	0.12	0.044	0.39
Sb	0.086	0.13	0.016	0.31
Se	0.37	0.56	0.079	1.4
Zn	4.5	7.0	1.4	19
Test method: Equilibrium column (M22-1 DHI), L/S approx. 1 l/kg				
Sum of PAH	0.0048	0.0071	0.00077	0.016
Naphthalene	0.023	0.034	0.0038	0.078
Benz(a)pyrene	0.00024	0.00036	0.000039	0.00081
Dibenz(a,h)anthracene	0.00024	0.00036	0.000039	0.00081
Sum of hydrocarbons				
C_6-C_{10}	0.18	0.28	0.030	0.64
C_{10}-C_{15}	0.21	0.32	0.035	0.72
C_{15}-C_{20}	0.21	0.32	0.035	0.72
C_{20}-C_{40}	0.21	0.32	0.035	0.72

1 Indledning

1.1 Baggrund

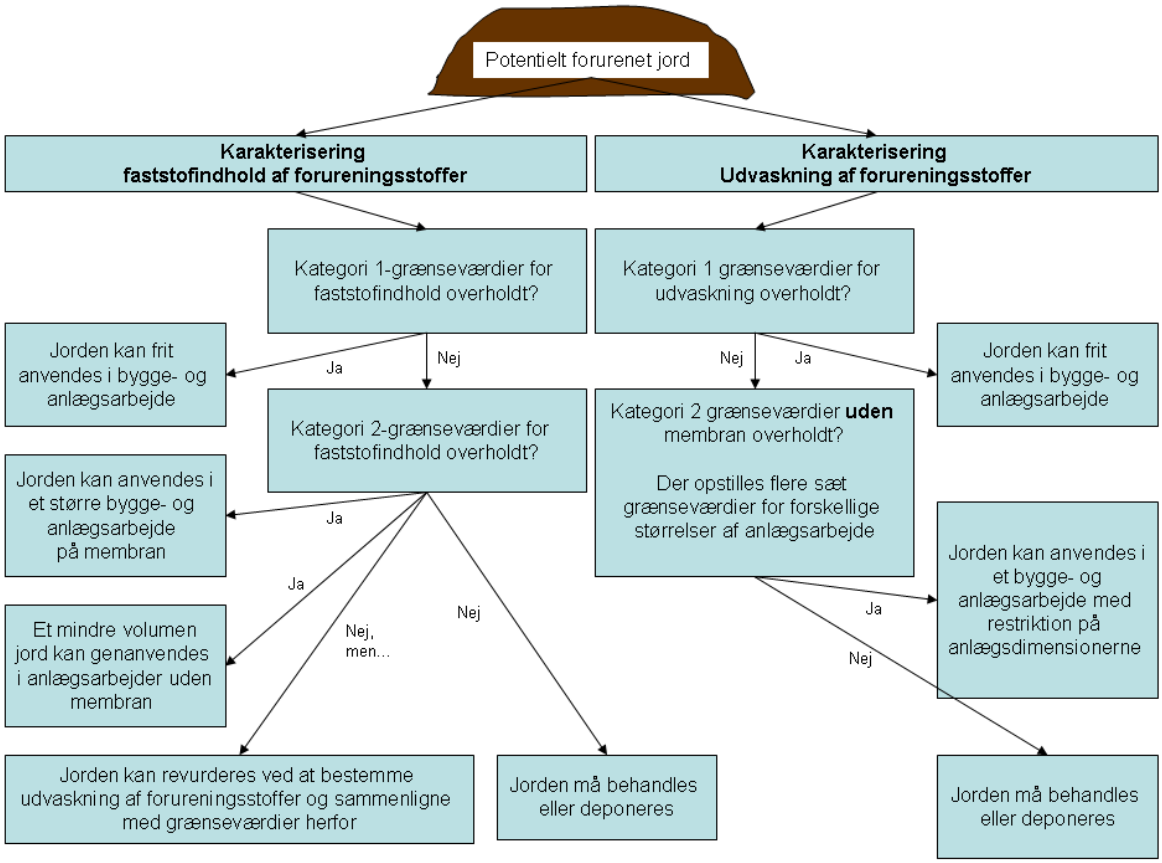
Områdeklassificeringen af områder, der kan være lettere forurenede, trådte i kraft den 1. januar 2008. Områdeklassificeringen betyder, at der er anmeldepligt, når jord flyttes fra lettere forurenede byområder. Der ventes i 2008 at blive flyttet ca. otte millioner tons jord med anmeldepligt i ca. 27.000 anmeldelser. Det skønnes, at ca. ¾ af jorden er uforurenet eller lettere forurenet, dvs. har et forureningsniveau under Miljøstyrelsens afskæringskriterier. Størstedelen af denne uforurenede eller lettere forurenede jord flyttes som følge af bygge- og anlægsarbejder. En mindre del af jorden flyttes for at nedsætte risikoen ved arealanvendelse.

Ikrafttrædelse af områdeklassificeringen vil således medføre, at der vil forekomme en stor mængde uforurenet og lettere forurenet jord, som ønskes genanvendt, hvis det kan ske på en miljømæssig forsvarlig måde.

Miljøstyrelsen ønsker at regulere genanvendelse af jord ved at inddele jorden i kategorier baseret på faststofindholdet af forureningsstoffer. Kategori 1-jord, som har det laveste indhold af forureningsstoffer, skal i videst muligt omfang kunne anvendes frit til bygge- og anlægsarbejder. Kategori 2-jord, som er lettere forurenet jord, skal kunne anvendes i bygge- og anlægsarbejder under nærmere definerede omstændigheder. Jord, som ikke kan klassificeres som kategori 1- eller 2-jord, skal enten renses eller deponeres.

Genanvendelse af jord må hverken give anledning til arealanvendelseskonflikter eller til en uacceptabel risiko for forurening af grundvandet. Nærværende projekt fokuserer udelukkende på at sikre en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet ved genanvendelse af kategori 1-jord og kategori 2-jord.

Projektet tager udgangspunkt i en beskrivelse, som er udarbejdet af Miljøstyrelsen (vedlagt i Bilag A). I projektbeskrivelsen er der skitseret forskellige muligheder for at håndtere potentielt forurenet jord ved genanvendelse (se figur 1.1). Som det fremgår af figur 1.1, vil muligheden for håndtering afhænge af, hvordan jorden kategoriseres. Kategorisering af jord ønskes foretaget enten på baggrund af forureningsniveauet bestemt ved faststofanalyser eller som et alternativ på baggrund af udvaskningen af forureningsstoffer fra jorden. Jord til genanvendelse inddeles i to kategorier, hvor beskyttelsesforanstaltningerne ved genanvendelse af kategori 2 jord vil være mest restriktive.



Figur 1.1
Muligheder for håndtering af potentielt forurenet jord til genanvendelse.

1.2 Formål

Det overordnede formål med nærværende projekt er at tilvejebringe tilstrækkelig viden, så der om muligt kan opstilles grænseværdier for genanvendelse af jord svarende til inddeling af jorden i kategori 1 og kategori 2. Grænseværdierne for de to kategorier skal opstilles på grundlag af en faglig vurdering i forhold til beskyttelse af grundvandet.

Projektet er opdelt i tre hovedafsnit, der hver især har et nærmere specificeret formål:

Del 1: Formålet med første del af projektet er at opstille forslag til grænseværdier for genanvendelse af kategori 1-jord. Grænseværdierne skal være baseret på faststofindholdet af udvalgte forureningsstoffer i jord. Som udgangspunkt skal det vurderes, om jordkvalitetskriterierne kan anvendes som grænseværdier for kategori 1-jord.

Del 2: Formålet med anden del af projektet er at opstille forslag til grænseværdier for genanvendelse af kategori 2-jord, som placeres på membran med perkolatopsamling og efterfølgende perkolatbortskaffelse. Derudover skal det vurderes, hvilket volumen af kategori 2-jord der kan anbringes i et afgrænset projekt (uden anvendelse af membran) samtidig med, at grundvandskvalitetskriteriet overholdes 30 m nedstrøms lokaliteten.

Grænseværdierne skal være baseret på faststofindholdet af udvalgte forureningsstoffer i jord. Som udgangspunkt skal det vurderes, om de af Miljøstyrelsen forslåede grænseværdier for kategori 2-jord kan anvendes.

Del 3: Som alternativ til at kategorisere jorden på baggrund af faststofindholdet skal der opstilles grænseværdier for kategori 1- og kategori 2-jord, baseret på udvaskeligheden af udvalgte forureningsstoffer.

1.3 Metodik og rammer for projektet

Projektbeskrivelsen indeholder en beskrivelse af den metodik, der ønskes anvendt til opstilling af grænseværdier for hhv. kategori 1- og kategori 2-jord. Miljøstyrelsen har i projektbeskrivelsen formuleret nogle rammer, indenfor hvilke projektet ønskes gennemført.

Der blev gennemført en række vurderinger, som førte til, at den valgte metodik blev justeret undervejs i projektet. Resultatet af disse vurderinger var nyttige i forhold til at tilpasse metoden, men havde ikke direkte betydning for det endelige resultat af arbejdet. For overskuelighedens skyld er det derfor valgt ikke at medtage disse resultater i rapporten.

I forhold til den oprindelige projektbeskrivelse blev der foretaget enkelte justeringer af metoden til fastsættelse af grænseværdier baseret på faststofindhold, idet der blev opstillet en regel for, hvornår grundvandskvalitetskriteriet kunne antages at være overholdt. Denne regel kombinerede anvendelsen af hhv. grundvandskvalitetskriteriet og ti gange grundvandskvalitetskriteriet som ifølge projektbeskrivelsen ønskedes vurderet. Afvigelser fra den oprindelige projektbeskrivelse blev godkendt af Miljøstyrelsen. I det følgende beskrives den anvendte metodik og rammer, og desuden er forudsætninger for gennemførelsen af arbejdet kort opsummeret.

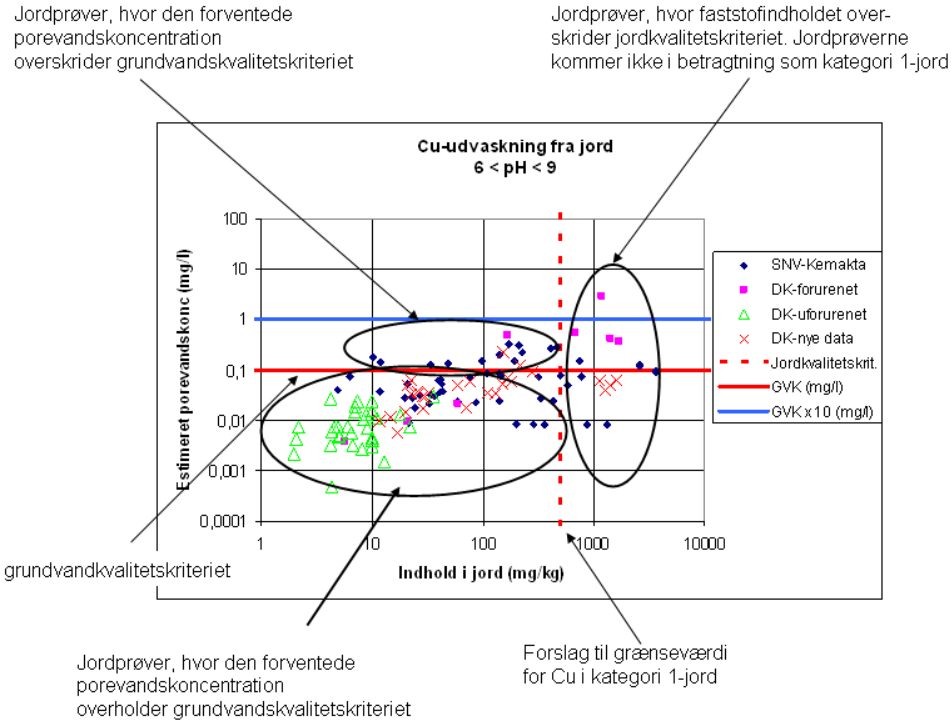
Der ønskedes opstillet forslag til grænseværdier for følgende stoffer:
Arsen, bly, cadmium, chrom(total), kobber, kviksølv, nikkel, zink, PAH-forbindelser (naphthalen, benz(a)pyren, dibenz(a,h)anthracen og sum af 7-PAH), kulbrinter (C_6-C_{10}, C_{10}-C_{25}, C_{25}-$C_{35/40}$) samt TOC. DHI har anbefalet, at stofferne antimon, barium, molybdæn og selen ligeledes inddrages i vurderingerne, da disse er omfattet af EU's regler for deponering. Vurderingerne for disse supplerende parametre er dog kun medtaget i projektet for at indsamle viden og erfaring med henblik på – eventuelt på et senere tidspunkt – at opstille kategori 1- og 2-grænseværdier. Endvidere har DHI anbefalet, at der ikke opstilles en grænseværdi for TOC i jord, da størstedelen af TOC i jord består af naturligt forekommende organisk stof som humusstoffer. Dette er nærmere diskuteret og beskrevet i DHI (2008).

1.3.1 Faststofgrænseværdier for kategori 1-jord

For at sikre, at en fri anvendelse af kategori 1-jord i bygge- og anlægsarbejder ikke vil udgøre en risiko over for grundvandet, ønskedes grænseværdier for kategori 1-jord fastsat således, at porevandet i kategori 1-jord kunne forventes at overholde grundvandskvalitetskriterierne.

Til fastsættelse af grænseværdier for faststofindholdet benyttedes derfor det datagrundlag, der tidligere er indsamlet bestående af sammenhørende værdier af faststofindhold og udvaskning for en række jorde (se DHI 2007 a,b). En grænseværdi fastsattes således, at for jordprøver med et faststofindhold

mindre end den foreslåede grænseværdi skal porevandskoncentrationen, som blev estimeret på baggrund af en udvaskningstest, være mindre end grundvandskvalitetskriteriet (se figur 1.2).



Figur 1.2
Eksempel på fastsættelse af en grænseværdi baseret på faststofindhold, som kan sandsynliggøre, at den forventede porevandskoncentrationen ikke overskrider grundvandskvalitetskriteriet.

Der blev opstillet en regel for fastsættelse af grænseværdier baseret på faststofindholdet. Reglen indebar en definition af, hvornår grundvandskvalitetskriteriet var overholdt. Med den valgte definition kunne det tillades, at en fastsat procentdel af jordprøver overskred grundvandskvalitetskriteriet, men overskridelsen måtte maksimalt være 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. Dog indeholder modellen en mulighed for, at meget få "outliers" kan forekomme. Reglen er formuleret i nedenstående boks.

Model for fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord baseret på faststofindhold
Grænseværdien for faststofindholdet skal fastsættes således, at hovedparten af jordprøverne med et faststofindhold mindre end grænseværdien skal have en estimeret porevandskoncentration, der overholder grundvandskvalitetskriteriet.

Derfor skal den estimerede porevandskoncentration for X% af jordprøverne være mindre end grundvandskriteriet, og for Y% af jordprøverne skal porevandskoncentrationen være mindre end 10 gange

Miljøstyrelsen fastsatte værdierne for X og Y:

Model 1: X = 85 % og Y = 100%.

Som udgangspunkt for fastsættelse af en grænseværdi ønskedes det afprøvet, om jordkvalitetskriterierne med rimelighed vil kunne anvendes som grænseværdier for kategori 1-jord. Vurderingen blev foretaget på baggrund af ovenstående model.

Såfremt jordkvalitetskriteriet ikke opfyldte kravene i model 1, blev en ny og lavere grænseværdi bestemt. Det blev ikke vurderet, om grænseværdien kunne sættes højere end jordkvalitetskriteriet.

Efter den første bearbejdning af datamaterialet viste det sig, at det ikke var muligt at fastsætte grænseværdier baseret på model 1 for alle parametre. Miljøstyrelsen ønskede derfor afprøvet, om det – på grundlag af en mindre restriktiv model – kunne lade sig gøre at fastsætte grænseværdier for alle parametre baseret på faststofindhold. Miljøstyrelsen fastsatte værdierne for X og Y i model 2:

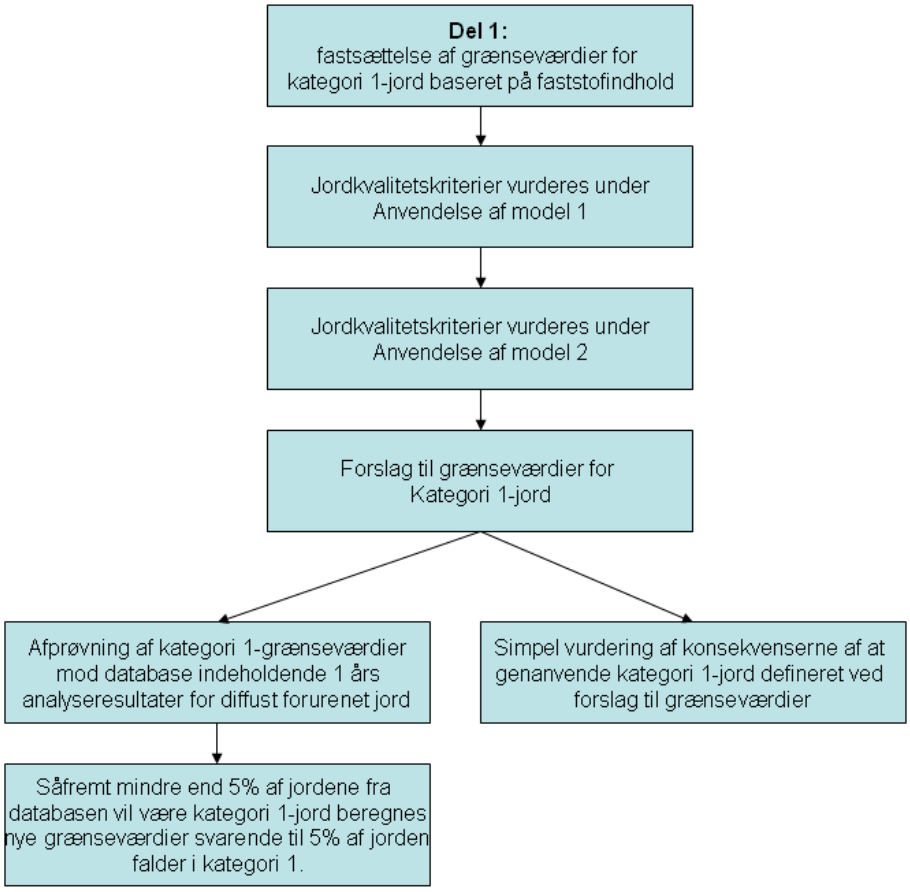
Model 2: X = 75% og Y = 95%

Såfremt der forekom parametre, hvor det ikke var muligt at fastsætte en grænseværdi baseret på hverken model 1 eller model 2, ønskedes det for de parametre vurderet, om grænseværdien kunne fastsættes ved en direkte sammenligning af eluatkoncentration med grundvandskvalitetskriteriet.

Som nævnt blev det ved opstilling af forslag til grænseværdier for kategori 1-jord accepteret, at en vis procentdel af jordprøverne havde en estimeret porevandskoncentration, der overskred grundvandskvalitetskriteriet. Der gennemførtes derfor en simpel vurdering af konsekvenserne i forhold til grundvandsressourcen ved genanvendelse af kategori 1-jord.

Endelig ønskedes det vurderet, hvor stor en andel af den potentielt forurenede jord der i fremtiden kan forventes at blive klassificeret som kategori 1-jord. Vurderingen blev foretaget på baggrund af en database fra RGS 90, som indeholder ca. et års resultater af analyser af diffust forurenet jord, modtaget hos RGS 90. Vurderingen blev foretaget for hver enkelt parameter, idet kulbrinter ifølge aftale med Miljøstyrelsen ikke indgik i vurderingen. Det blev desuden aftalt, at hvis der ved den samlede bedømmelse af alle parametre var mindre end 5% af jorden fra RGS 90, som er kategori 1-jord, skulle de faststofværdier, der giver en 5% fraktion af jorden i kategori 1, beregnes.

En oversigt over de enkelte trin i første del af projektet er vist figur 1.3.

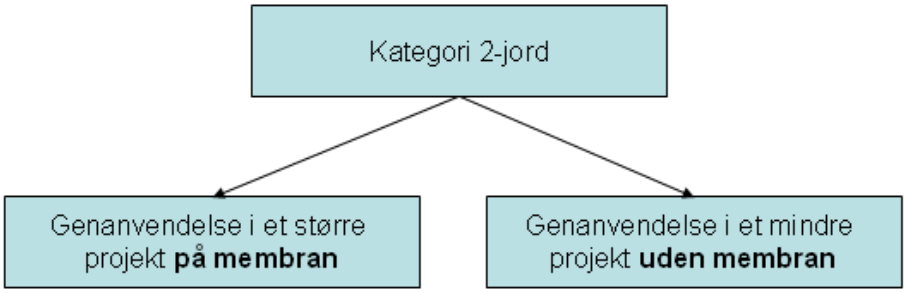


Figur 1.3
Indhold og arbejdsflow i første del af projektet, hvor forslag til grænseværdier baseret på faststofindhold opstilles for kategori 1-jord.

1.3.2 Faststofgrænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran

I henhold til projektbeskrivelsen vil der være to muligheder for at genanvende jord klassificeret som kategori 2-jord. Jorden vil enten kunne genanvendes i et større projekt under anvendelse af en membran til perkolatopsamling eller alternativt i et mindre afgrænset genanvendelsesprojekt under krav til dimensionerne af genanvendelsen.

Anden del af dette projekt opdeles således i to underafsnit, som skitseret i figur 1.4



Figur 1.4
Muligheder for genanvendelse af kategori 2 jord, som formuleret i projektbeskrivelsen.

Genanvendelsen af kategori 2-jord må ikke udgøre en risiko for at bidrage til en uacceptabel påvirkning af grundvandet. Grænseværdier for kategori 2-jord baseret på faststofindhold skulle derfor fastsættes, så grundvandskvaliteten ikke påvirkes ved genanvendelse.

Ved genanvendelse af kategori 2-jord ønskedes grænseværdierne fastsat under forudsætning af, at der anvendes en membran som grundvandsbeskyttende foranstaltning. Mens membranen er funktionsdygtig, vil der pågå en udvaskning af forureningsstoffer fra jorden, og i den periode vil perkolatet blive opsamlet og behandlet. Når membranens funktionsdygtighed ophører, vil porevandet kunne sive direkte ned til grundvandet. På det tidspunkt skal stofkoncentrationen i porevandet være mindre end eller lig med grundvandskvalitetskriteriet, således at grundvandskvaliteten ikke påvirkes.

I membranens levetid vil kildestyrken blive mere eller mindre reduceret afhængig dels af, hvilken parameter der betragtes, dels af faktorer som membranens levetid, højden af genanvendelsen og den gennemsnitlige årlige nettonedbør. Til beregning af membranens effekt (reduktionen i stofudvaskningen) blev der derfor defineret otte forskellige scenarier, hvor membranens levetid, højden og nettonedbøren varierede, se tabel 1.1.

Tabel 1.1
Beskrivelse af 8 forskellige scenarier, for hvilke beregninger er gennemført.

Scenarie	Bundmembranens levetid	Højde	Nettonedbør
	(år)	(m)	(mm/år)
1	60	5	200
2	60	5	350
3	60	10	200
4	60	10	350
5	100	5	200
6	100	5	350
7	100	10	200
8	100	10	350

For hvert scenarium blev membranens effekt beregnet for de enkelte parametre, og stofkoncentrationen i porevandet estimeredes for det tidspunkt, hvor membranen ophører med at fungere. De estimerede porevandskoncentrationer ved tidspunktet for membranens funktionsophør vurderedes i forhold til grundvandskvalitetskriterierne, og grænseværdier for kategori 2-jord fastsattes således, at grundvandskvalitetskriterierne var overholdt. Til en vurdering af, hvornår et grundvandskvalitetskriterium kan anses for at være overholdt, anvendtes model 2.

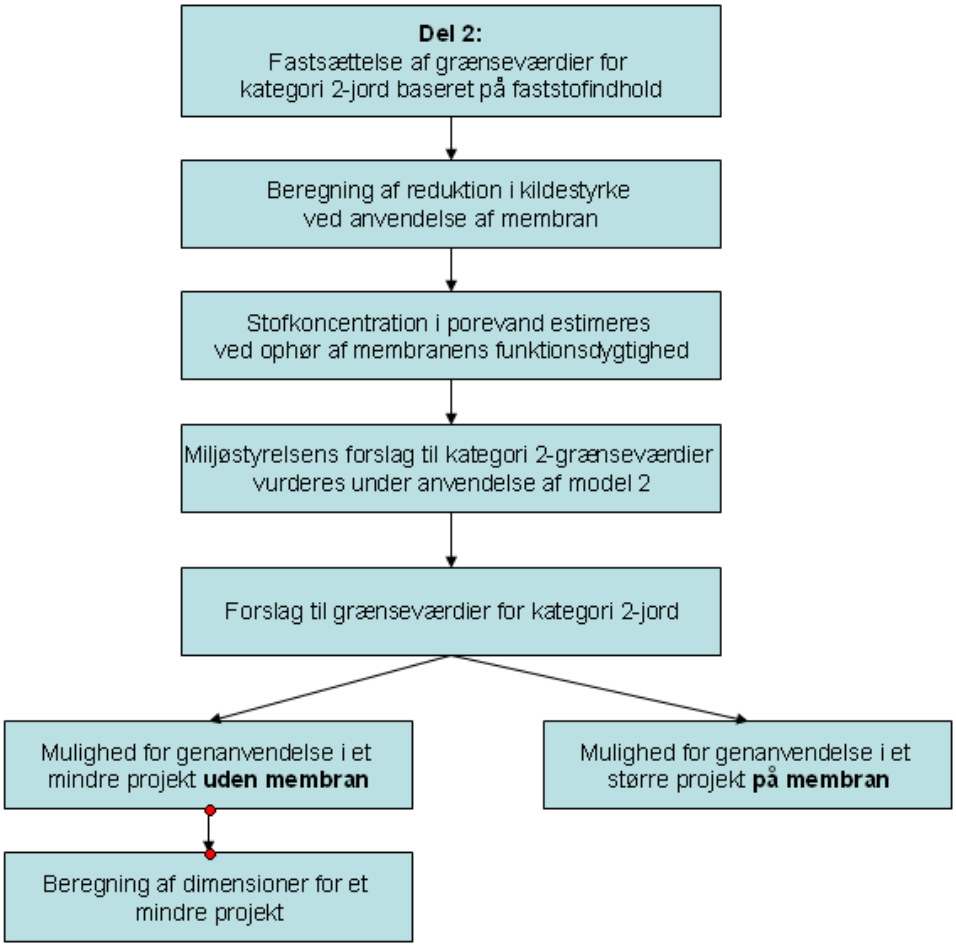
Med udgangspunkt i de grænseværdier, der blev fastsat for kategori 2-jord, ønskedes det vurderet, om kategori 2-jord ville kunne anvendes i et mindre genanvendelsesprojekt uden membran, når det blev forudsat, at grundvandskvalitetskriterierne skal være overholdt i en afstand på 30 m fra genanvendelseslokaliteten. Det blev valgt, at i en afstand af 30 m skulle grundvandskvalitetskriterierne være overholdt for 100% af de jordprøver, der indgik i vurderingen. Vurderingerne byggede endvidere på nogle forudsætninger vedrørende de fysiske omstændigheder:

- Gennemsnitsnedbør på 350 mm/år
- Som udgangspunkt defineredes volumenet ved en kube med ens højde, bredde og længde. Den maksimale højde var dog 10 m
- Grundvandets naturlige baggrundskoncentration af den pågældende komponent blev indregnet i beregningerne

Under disse forudsætninger blev det vurderet, hvor stort et volumen af kategori 2-jord det var muligt at anbringe i et afgrænset projekt. Vurderingerne blev gennemført for otte forskellige scenarier, hvor dimensionerne varierede. Beregningerne blev gennemført på samme måde som de modelberegninger, der er foretaget i forbindelse med implementeringen af Rådsbeslutningen 2003/33/EF, og som også er anvendt i DHI (2007), dvs. i tre trin:

Trin 1: kildestyrkeberegning
Trin 2: flow og transportberegning i umættet zone
Trin 3: flow og transportberegning i mættet zone

Figur 1.5 giver en oversigt over indholdet og arbejdsflowet i anden del af projektet.



Figur 1.5
Indhold og arbejdsflow i anden del af projektet, hvor forslag til grænseværdier for kategori 2-jord foreslås på basis af faststofindholdet af forureningsstoffer.

1.3.3 Grænseværdier baseret på stofudvaskning

Som alternativ til at kategorisere jorden på baggrund af faststofindholdet skulle der opstilles grænseværdier for kategori 1- og kategori 2-jord, der baseredes på udvaskeligheden af forureningsstoffer. Grænseværdierne blev fastsat således, at jorden på baggrund af udvaskningstest kunne kategoriseres i enten kategori 1, kategori 2 eller i en højere kategori.

1.3.4 Nye jordkvalitetskriterier for kulbrinter i jord

Den 7. januar 2008 udsendte Miljøstyrelsen en officiel meddelelse om, at der er etableret nye jordkvalitetskriterier for olie i jord. Følgende er hentet fra Miljøstyrelsens hjemmeside:

”Kriterierne for kulbrinter fra olie- og/eller benzinprodukter er justeret for at kompensere for ny analysemetodes udvidede kogepunktsinterval og forbedrede ekstraktionseffektivitet for tungere kulbrinter. Desuden er kriterierne ændret således, at kriterierne knyttes op til de specifikke kulbrintefraktioner og ikke som tidligere efter hvilket produkt (f.eks. fyrings-olie/petroleum/benzin/etc.), som forureningen formodes at stamme fra.

Stofnavn	Jordkvalitets-kriterie mg/kg	Afskærings-kriterie mg/kg	Grundvands-kvalitetskriterium µg/ liter
Kulbrinter fra olie- og/eller benzinprodukter:[j]			
C_6-C_{10} kulbrinter	25 [k]	-	
>C_{10}-C_{15} kulbrinter	40 [k]	-	
>C_{15}-C_{20} kulbrinter	55 [k]	-	
>C_{20}-C_{40} kulbrinter	150 [k, l]		
Sum af kulbrinter, C_6-C_{40}	150 [k, l, m]	-	9

j: Kriteriet gælder forureninger med alle olie- og/eller benzinprodukter, herunder bl.a. fra benzin/fyringsolie/dieselolie/gasolie/terpentin/petroleum. Foruden kriterier for sum og fraktioner af kulbrinter skal kriterier for enkeltkomponenter og sum heraf, der kan forekomme i olie- og/eller benzinprodukter, overholdes: benzen, toluen, xylener, alkylbenzener, 1,2-dibrom- og 1,2-dichlorethan, MTBE, tetraethyl- og tetramethylbly, samt PAH. Se liste over kvalitetskriterier i relation til forurenet jord. December 2005.

k: Analysen skal udføres efter metoden ”Reflab metode 4: Bestemmelse af olieindhold, BTEX og PAH i jord ved gaskromatografi”. Miljøstyrelsen vil igangsætte en undersøgelse af sammenhængen mellem ekstraktionstid og ekstraktionsudbytte ved ”reflab metode 4”. Frem til disse undersøgelser er afsluttet, kan ekstraktionstiden i ”Reflab metode 4” reduceres til 2 timer, hvis det er påkrævet f.eks. af tidsmæssige årsager. Når ekstraktionstiden reduceres til 2 timer, skal ekstraktionsudbyttet vurderes til 50% af udbyttet efter ”Reflab metode 4”.

l: Der kan ses bort fra bidrag af biogene kulbrinter bestemt efter metoden ”Reflab metode 4: Bestemmelse af olieindhold, BTEX og PAH i jord ved gaskromatografi”.

m: Både kriterier for de enkelte kulbrintefraktioner og kriteriet for sum af kulbrinter skal være opfyldt samtidig.”

Følgende forhold er ændret:

- Der anvendes en ny analysemetode (Reflab metode 4: Bestemmelse af olieindhold, BTEX og PAH i jord ved gaskromatografi)
- Sum af kulbrinter beregnes nu fra C_6-C_{40}
- Fraktionsopdelingen er ændret til C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20}, C_{20}-C_{40}

Da første del af nærværende projekt blev sat i gang, var de nye kriterier for kulbrinter i jord ikke endeligt fastsat. Arbejdet tog derfor udgangspunkt i den opdeling af kulbrinter i fraktioner, der traditionelt har været anvendt i de

amtslige vejledninger og som tidligere har dannet grundlag for beslutninger vedrørende håndtering af jord (C_6-C_{10}, C_{10}-C_{25}, C_{25}-C_{35}). Undervejs i projektet var det et ønske fra Miljøstyrelsens side, at grænseværdier for kulbrinter blev fastsat med en opdeling i overensstemmelse med de nye jordkvalitetskriterier (C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-$C_{20,}$, C_{20}-C_{40}). Dette har betydet, at der undervejs i rapporten indgår vurderinger baseret på kulbrinter opdelt efter såvel de traditionelle fraktioner som efter den nye fraktionsopdeling. Dog er sammenfatning og konklusion fokuseret på den nye fraktionsopdeling, som forventes at udfase den traditionelle opdeling. Endvidere har beslutningen om at anvende den nye opdeling af kulbrinter konkret betydet, at:

1. antallet af datasæt bestående af sammenhørende værdier for faststofindholdet og udvaskning af kulbrinter reduceres fra 47 til 27 datasæt. Det er ikke muligt at ”oversætte” resultater for kulbrinter analyseret med den gamle metode.
2. grænseværdier for kulbrinter i kategori 1-jord, opgivet efter de nye krav, ikke kan afprøves mod RGS 90-databasen, og kulbrinter udgår derfor af afprøvningen.

2 Kvalitetskriterier for vand og jord

Grundlaget for at opstille grænseværdier for genanvendelse af potentielt forurenet jord er i dette projekt afgrænset til udelukkende at tage hensyn til beskyttelse af grundvandet. Grænseværdierne er derfor fastsat på baggrund af grundvandskvalitetskriterierne (www.mst.dk), og hvor disse ikke findes, er kvalitetskriterierne for drikkevand anvendt. I tabel 2.1 ses kvalitetskriterier for de enkelte stoffer.

Tabel 2.1 indeholder derudover jordkvalitetskriterierne (JKK), der er anvendt som udgangspunkt for fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord samt Miljøstyrelsens forslag til grænseværdier for kategori 2-jord (DHI 2007), der er anvendt som udgangspunkt for opstilling af grænseværdier for kategori 2-jord.

Sum af PAH beregnes forskelligt for vand og jord. Til brug i dette projekt beregnes sum af PAH som sum af benzo(a)pyren, benzo(b+j+k)fluoranthen, dibenzo(a,h)anthracen, fluoranthen og indeno(1,2,3-cd)pyren for både grundvand og jord.

Som det fremgår af tabel 2.1, er der ikke fastlagt jordkvalitetskriterier for kulbrinte-fraktionerne C_{10}-C_{25} og C_{25}-C_{35} samt for naphthalen. Derfor er grænseværdierne for klasse 1-jord fra Sjællandsvejledningen (2001) anvendt som udgangspunkt.

Tabel 2.1
Anvendte kvalitetskriterier for grundvand samt Miljøstyrelsens forslag til kategori 1- og 2-jord baseret på faststofindholdet.

Parameter	**Kvalitets-kriterium for grundvand**	**MST-forslag til kategori 1-grænseværdier** (JKK)	**MST-forslag til kategori 2-grænseværdier**
	ug/l	mg/kg TS	mg/kg TS
As	8	20	20
Ba	700[a]	-	-
Cd	0,5	0,5	5
Cr, total	25	500	1.000
Cu	100	500	1.000
Hg	0,1	1	3
Mo	20	5	-
Ni	10	30	30
Pb	1	40	400
Sb	2[a]	-	-
Se	10[a]	-	-
Zn	100	500	1.000
Sum af PAH	0,2[b]	4[c]	40
Naphthalen	1	0,5[d]	5
Benz(a)pyren	0,01[a]	0,3	3
Dibenz(a,h)anthracen	-	0,3	3
Kulbrinter			
Sum af kulbrinter, ($C_{5/6}$– C_{35})	9	100	200
$C_{5/6}$-C_{10}	9	25	35
C_7-C_{12}	9	25	-
C_9-C_{16}	9	25	-
C_{10}-C_{25}	-	50[d]	75
C_{25}-C_{35}	-	100[d]	200
Kulbrinter (officielle pr. 7-1-08)[e]			
Sum af kulbrinter, C_6– C_{40}	9	150	450[f]
C_6-C_{10}	9	25	
C_{10}-C_{15}	9	40	
C_{15} - C_{20}	9	55	
C_{20}-C_{40}	9	150	450[f]

[a]: Der eksisterer ikke et grundvandskvalitetskriterium – Kvalitetskriteriet for drikkevand er anvendt (BEK 1449:2007).
[b]: Vand: Sum af benzo(a)pyren, benzo(b+k)fluoranthen, fluoranthen, indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(ghi)fluoranthen.
[c]: Jord: Sum af benzo(a)pyren, benzo(b+j+k)fluoranthen, dibenzo(a,h)anthracen, fluoranthen og indeno(1,2,3-cd)pyren.
[d]: fra Sjællandsvejledningen (2001).
[e]: Analyseres vha. "Reflab metode 4". Se endvidere fodnoter til kriterierne på www.mst.dk.
[f]: Forslag til afskæringskriterier (Grøn et al., 2008).

3 Omregning af udvaskningsresultater til porevandskoncentrationer

For at kunne foretage en sammenligning mellem en forventet porevandskoncentration og grundvandskvalitetskriteriet er det nødvendigt at omsætte resultater af udvaskningstest til en estimeret porevandskoncentration. Omregningen bygger på en række forudsætninger, som ikke nødvendigvis altid vil være opfyldt i fuldt omfang. Det antages bl.a., at udvaskningen kan beskrives som eksponentielt aftagende som funktion af L/S, og at den kan beskrives ved hjælp af den såkaldte CSTR-model (Continuous Stired Tank Reactor), se f.eks. DHI (2007), med de i tabel 3.1 angivne værdier af κ.

Der regnes med en ”gennemsnitsjord”, som antages at have en porøsitet på 0,4, en kornrumvægt på 2,5 kg/l og en tør bulkrumvægt på 1,5 kg/l, hvoraf det kan beregnes, at et porevolumen svarer til $(L/S)_{PV}$ = 0,27 l/kg.

Hvis koncentrationen af en given forureningskomponent i en batchudvaskningstest eller en ligevægtskolonnetest udført ved (L/S) = X l/kg er C_X, og porevandskoncentrationen i starten af udvaskningsforløbet ved perkolation benævnes C_p, kan sidstnævnte for den givne komponent beregnes af udtrykket:

$$C_p = C_x \left(\frac{\exp\left(-\left(L/S\right)_{PV} \cdot \kappa\right)}{\exp\left(-\left(L/S\right)_x \cdot \kappa\right)} \right)$$

Svarende til:

$$C_p = \left(\frac{M_x}{(L/S)_X} \right) \left(\frac{\exp\left(L/S\right)_{PV} \cdot \kappa}{\exp\left(-\left(L/S\right)_x \cdot \kappa\right)} \right)$$

hvor
$M_X = (L/S)_x\ C_x$ er den udvaskede stofmængde i en batchtest udført ved $(L/S)_x$ l/kg.

I tabel 3.1 ses de værdier af κ, som er anvendt ved beregningerne (se DHI 2007).

Tabel 3.1
Værdier af kappa (κ) anvendt til estimering af porevandskoncentration ud fra resultater af udvaskningstests.

Parameter	(kg/l)	Parameter	(kg/l)
As	0,03	Se	0,38
Ba	0,15	Zn	0,28
Cd	0,50	Klorid	0,57
Cr	0,18	Fluorid	0,22
Cu	0,28	Sulfat	0,33
Hg	0,05	DOC	0,17
Mo	0,35	Decan	0,000073
Ni	0,29	Pentadecan	0,00000024
Pb	0,27	Naphthalen	0,073
Sb	0,11	Fluoranthen	0,00086

Kappa-værdierne er de samme, som blev anvendt ved beregning af EU's acceptkriterierne for modtagelse af affald på deponeringsanlæg (CEC, 2003). Værdier stammer fra Aalbers et al. (1996) og er baseret på lineær regression af kolonneudvaskningsdata for et betydeligt antal restprodukter (affald). Da kappa i princippet er afhængig af faststofmatricen, er det i bilag B undersøgt, om de anvendte kappa-værdier kan antages at være repræsentative for lettere forurenet jord. I bilag C er der for seks jordprøver, for hvilke der foreligger udvaskningsresultater både ved L/S = ca. 2 l/kg og ca. 0,27 l/kg, foretaget beregninger af porevandskoncentrationen efter ovenstående princip for As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se og Zn. Herefter er forholdet mellem den estimerede og den observerede porevandskoncentration beregnet. Som det ses, varierer dette forhold mellem 0,15 og 50, hvor ekstremværdierne primært stammer fra én jordprøve. Det er vurderet og accepteret af Miljøstyrelsen, at overensstemmelsen mellem observeret porevandskoncentration og beregnet porevandskoncentration er tilstrækkelig god til nærværende formål.

4 Faststofgrænseværdier for kategori 1-jord

4.1 Datagrundlag

Til brug for fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord omregnes resultaterne fra udvaskningstests til en estimeret porevandskoncentration ved hjælp af den model, der er beskrevet i kapitel 3.

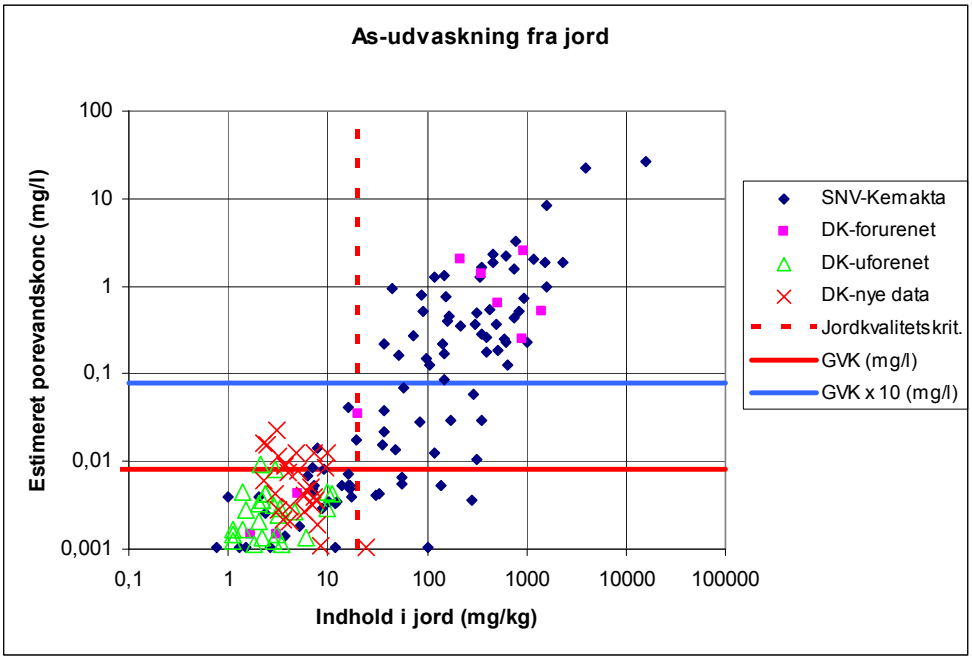
For metallerne er datamaterialet relativt omfattende, varierende fra 38 til 165 jordprøver, men mindre omfattende for de organiske stoffer varierende fra 20 til 56 jordprøver. Datamaterialet er mindst for kulbrinter opdelt efter den nye fraktionsopdeling.

Ved vurdering af jordkvalitetskriterierne som grænseværdier for kategori 1-jord betragtes de data, der ligger til venstre for den stiplede røde linje i figurerne 4.1a til 4.4e. Hvert punkt i graferne svarer til en jordprøve.

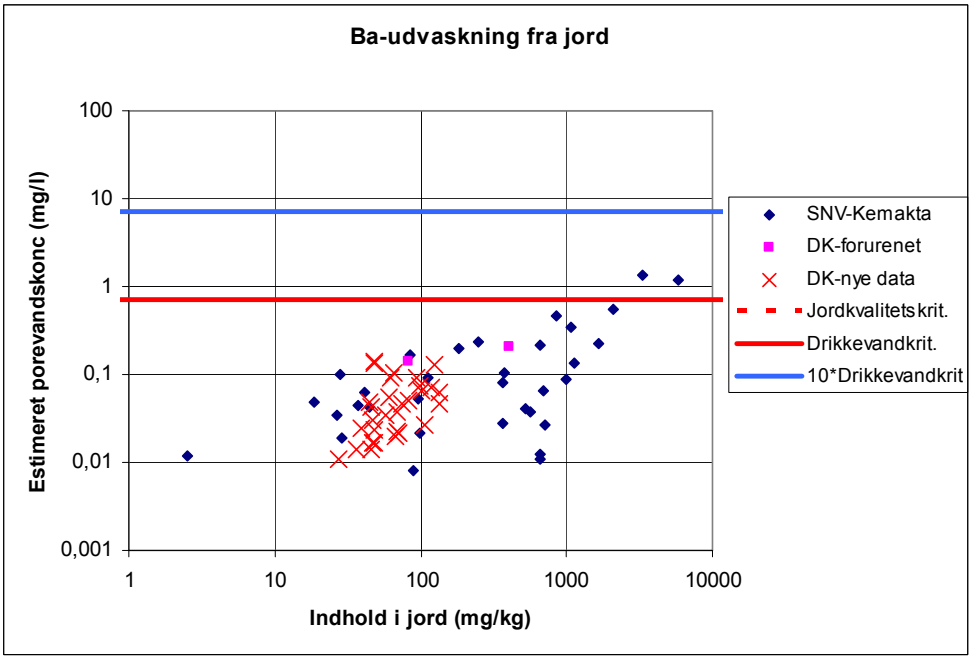
4.1.1 Metaller

Det samlede datamateriale bestående af sammenhørende værdier af faststofindhold og estimeret porevandskoncentration er for de uorganiske stoffer, der indgår i vurderingen, vist i figur 4.1a til figur 4.1l.

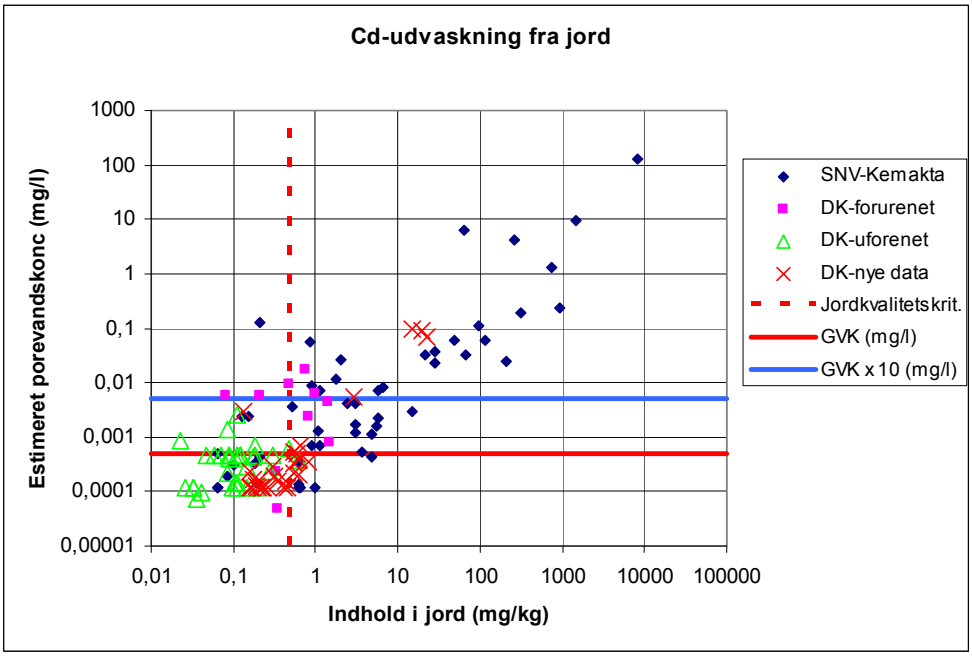
Den røde vandrette linje (nederste linje) repræsenterer grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og den blå (øverste linje) svarer til 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. Den lodrette stiplede linje angiver jordkvalitetskriteriet. For de stoffer, hvor den lodrette linje ikke er indtegnet, eksisterer der ikke et jordkvalitetskriterium.



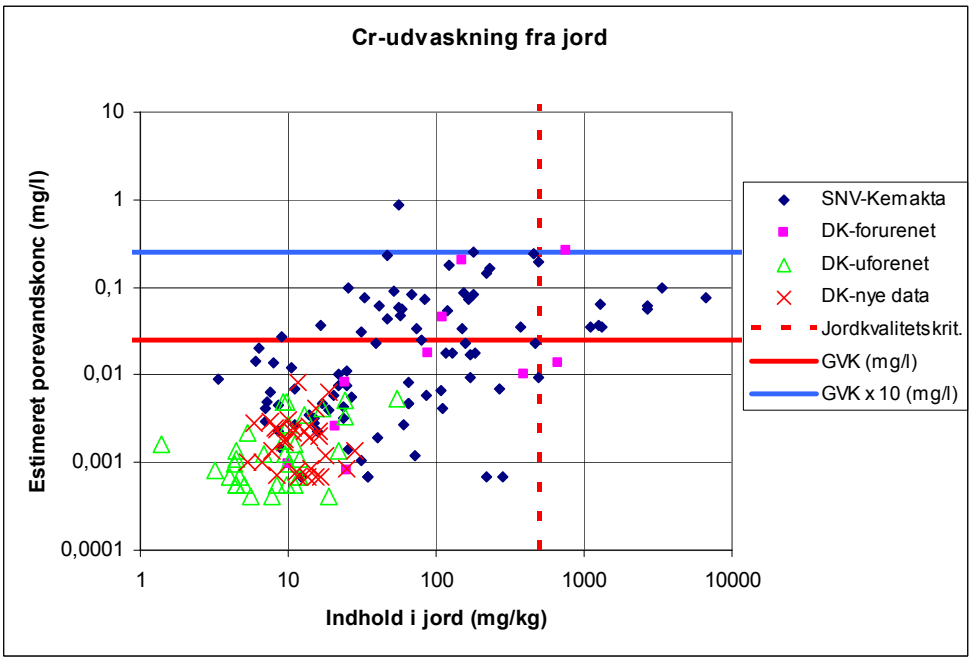
Figur 4.1a
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og ti gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk at figuren er dobbeltlogaritmisk.



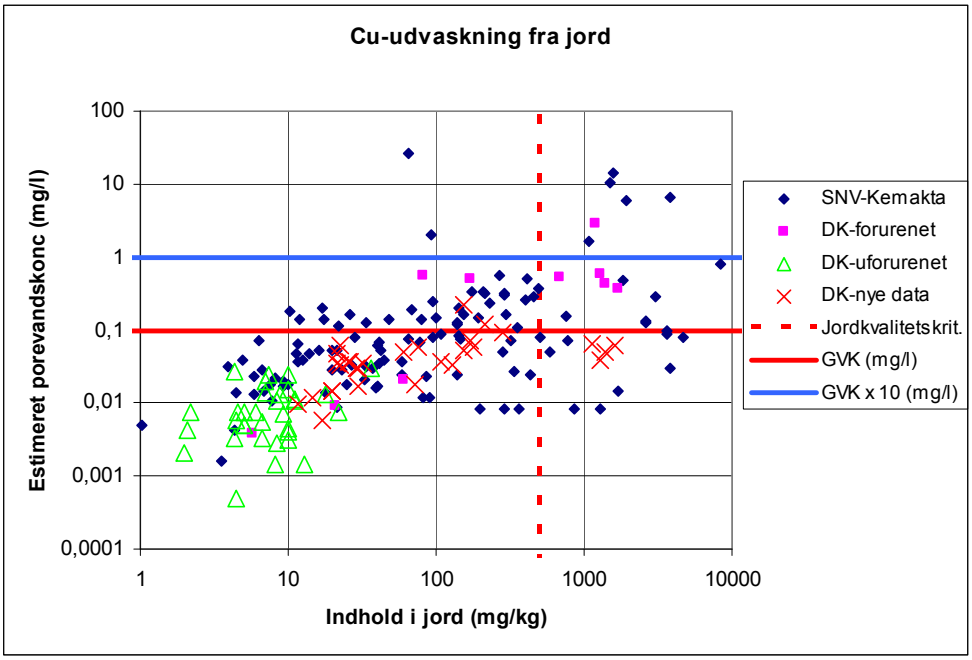
Figur 4.1b
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



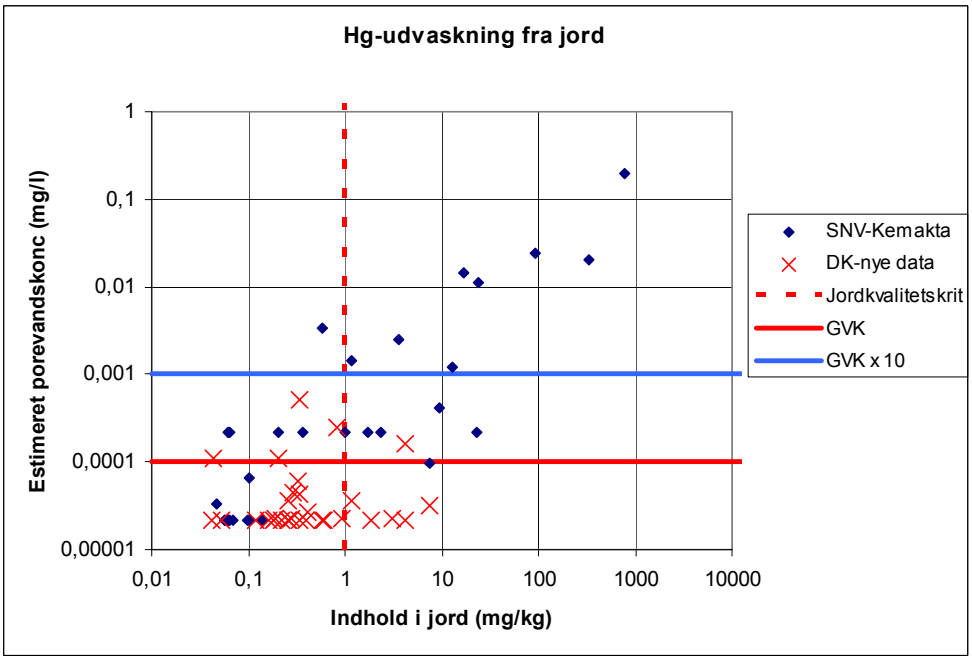
Figur 4.1c
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



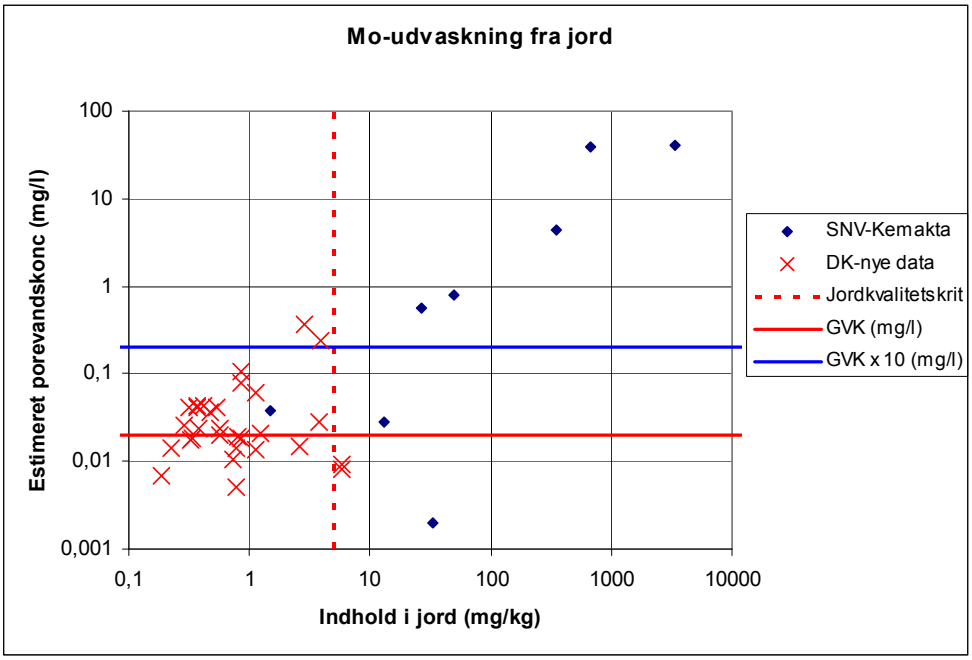
Figur 4.1d
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



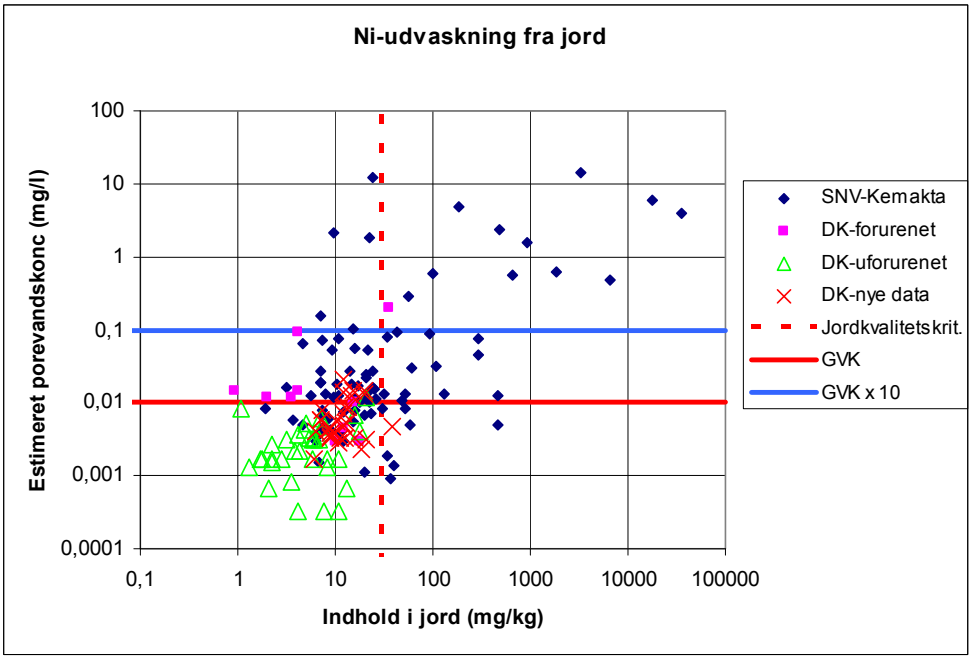
Figur 4.1e
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



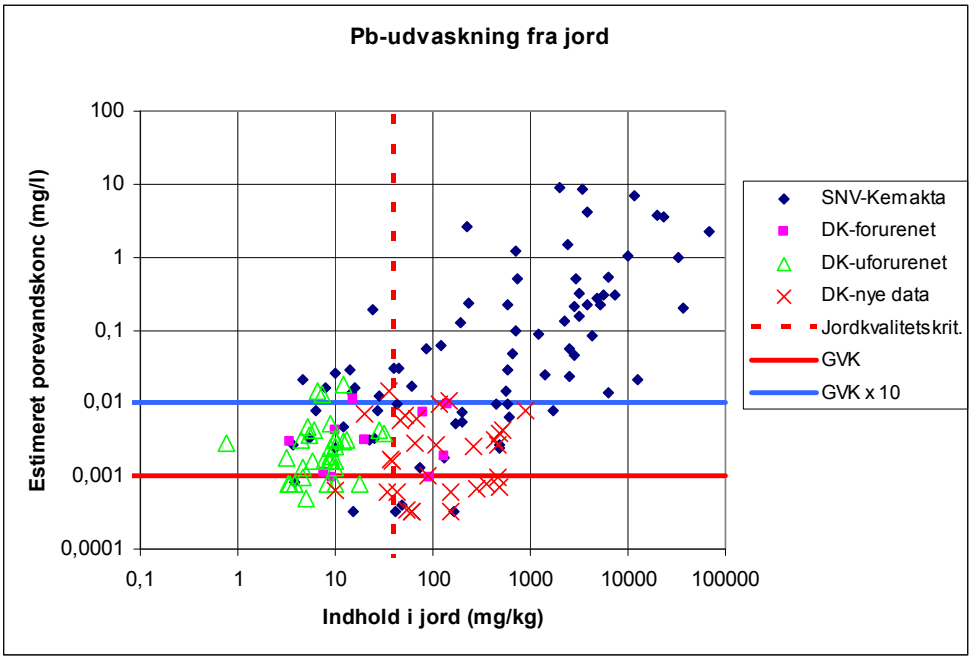
Figur 4.1f
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



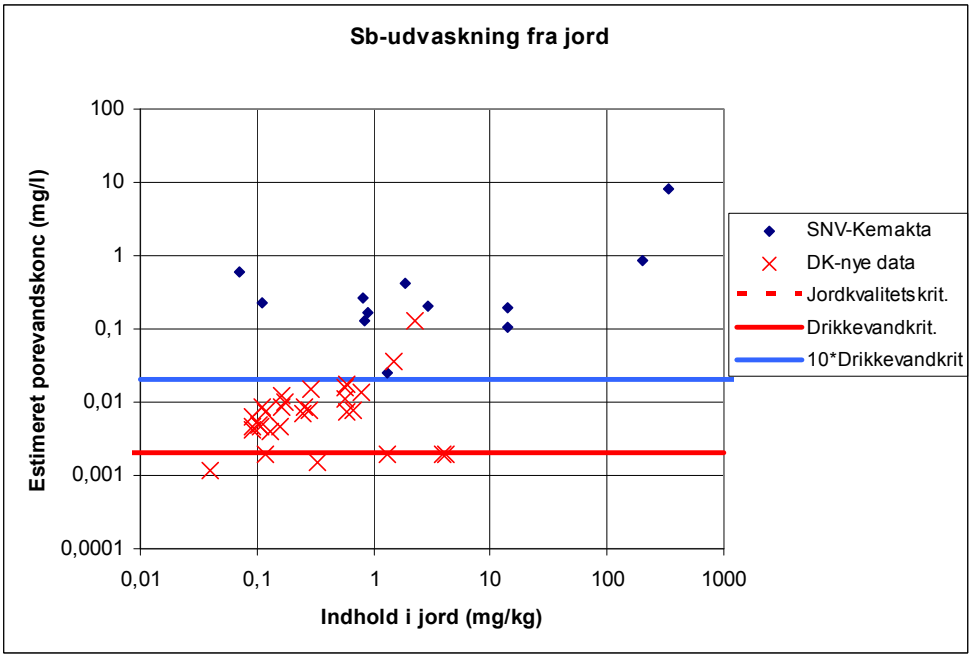
Figur 4.1g
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



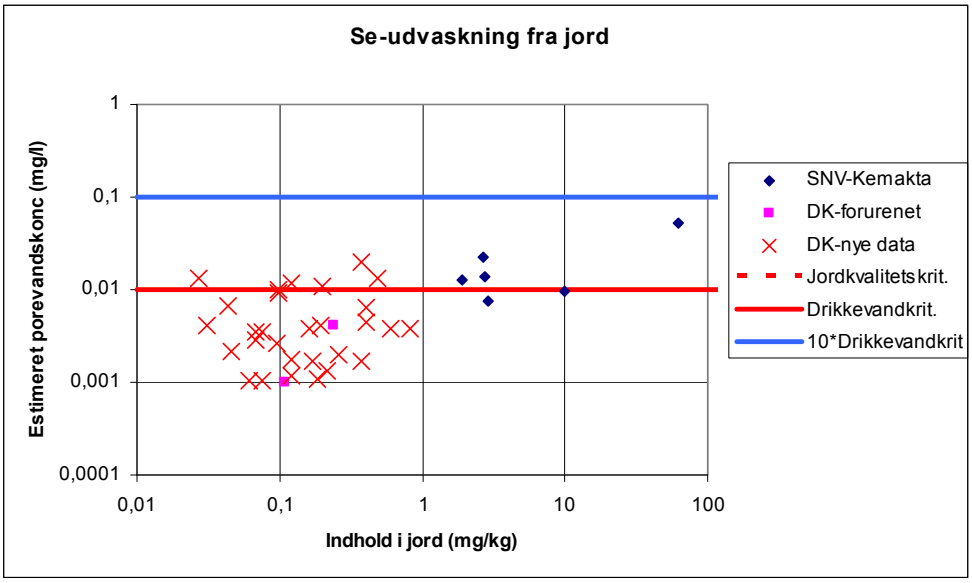
Figur 4.1h
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



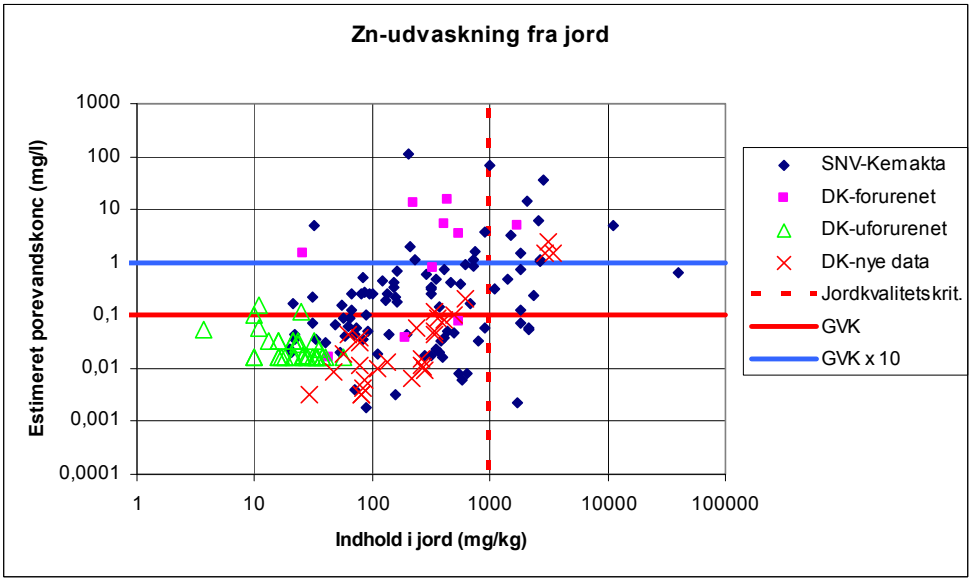
Figur 4.1i
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.1j
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



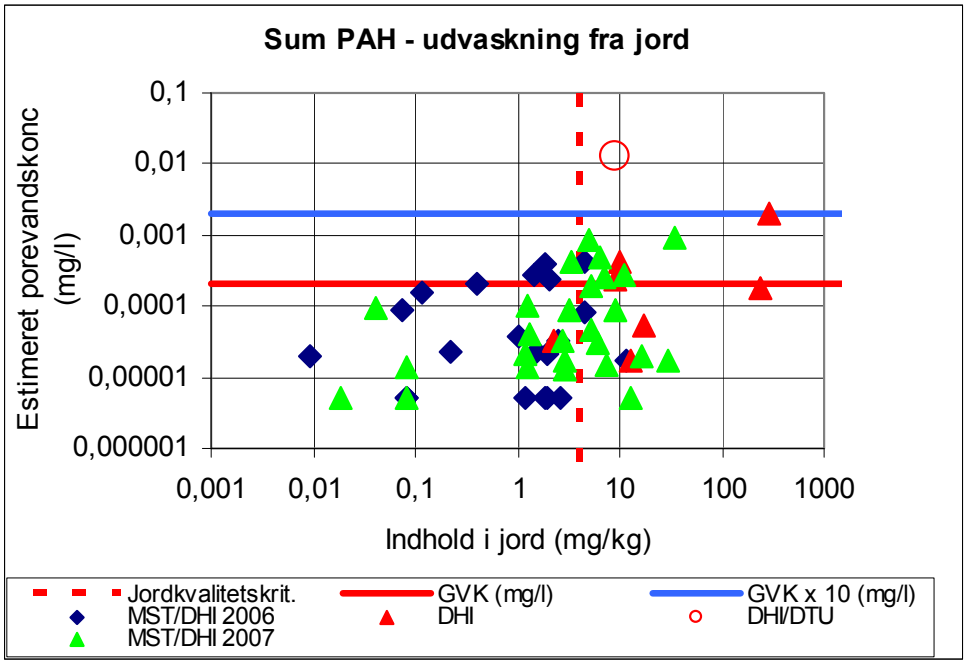
Figur 4.1k
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



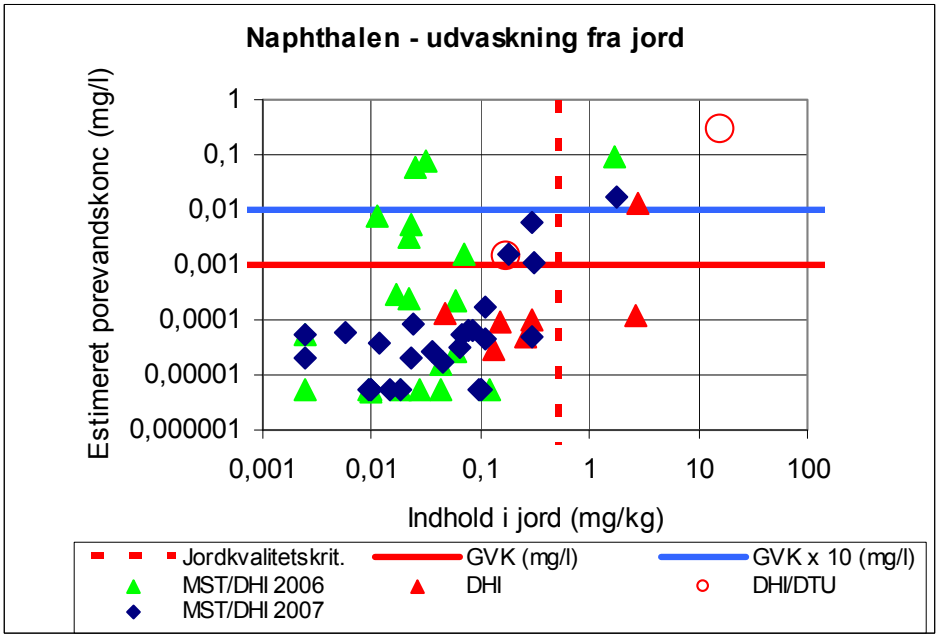
Figur 4.1l
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

4.1.2 PAH-forbindelser

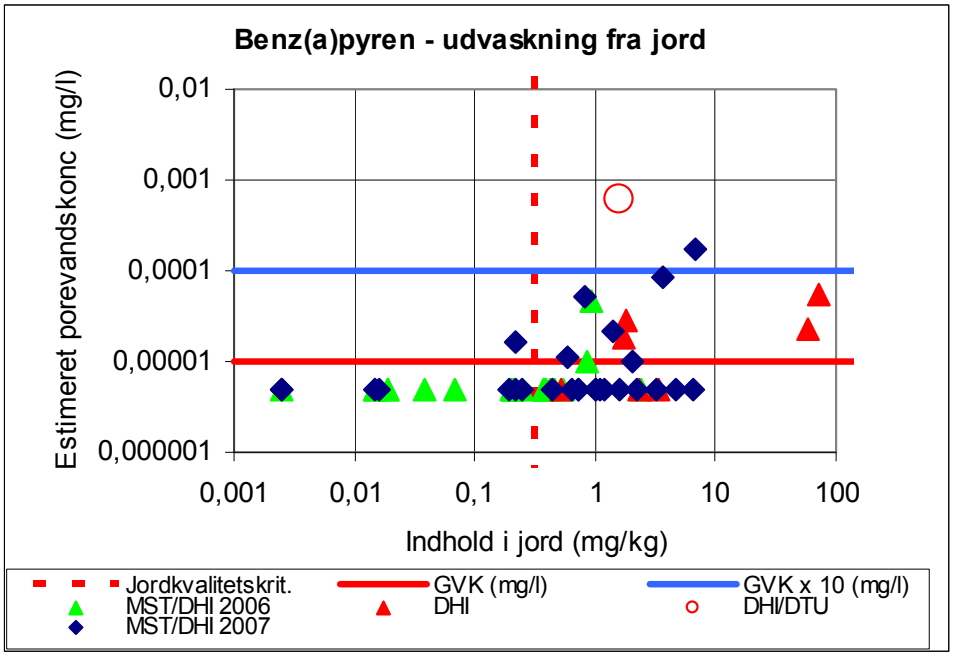
Det samlede datamateriale bestående af sammenhørende værdier af faststofindhold og estimeret porevandskoncentration er for PAH-forbindelser vist i figur 4.2a til figur 4.2d. For dibenz(a,h)anthracen findes der ikke et grundvandskvalitetskriterium. Den røde linje repræsenterer i stedet den analytiske detektionsgrænse.



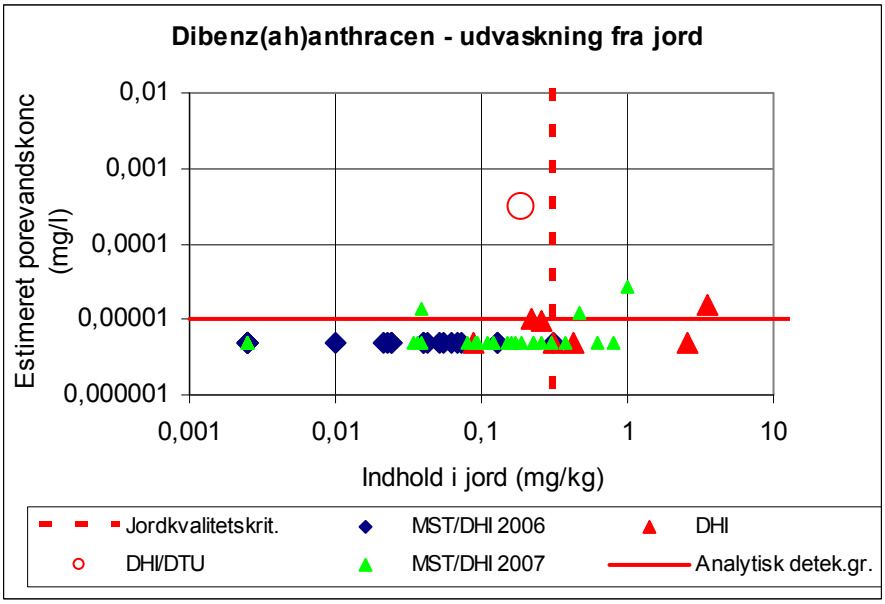
Figur 4.2a
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.2b
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.2c
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.2d
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

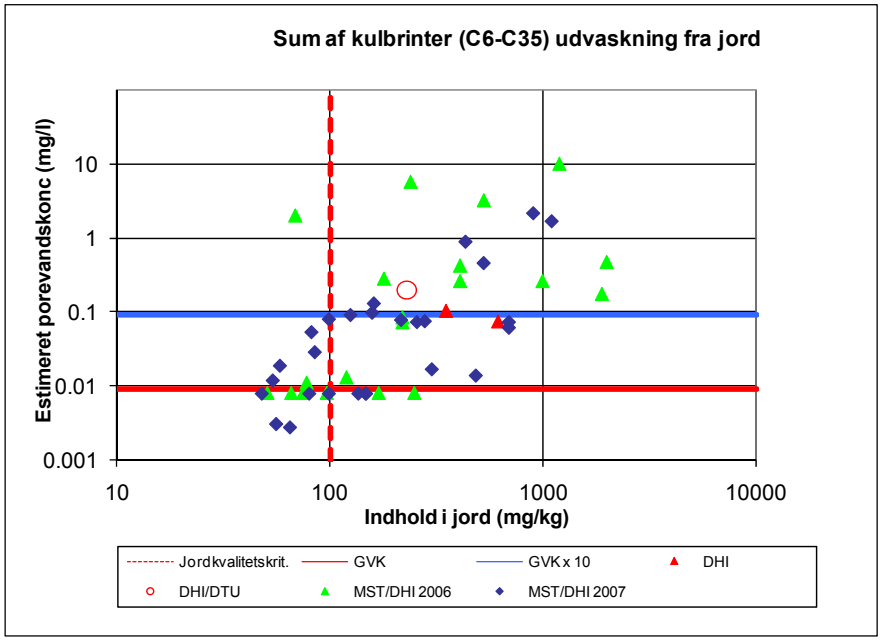
4.1.3 Kulbrinter opdelt i forskellige fraktioner

For kulbrinter er grundvandskvalitetskriteriet fastsat til 0,009 mg/l, hvilket giver et problem i forhold til at fastsætte en grænseværdi for faststofindhold, når denne ønskes baseret på udvaskningsdata. Dette skyldes, at den analytiske detektionsgrænse for kulbrinter i vand oftest er 0,01 mg/l eller endda højere. Det blev derfor besluttet, at udvaskningsresultater under detektionsgrænserne for de anvendte analysemetoder i disse vurderinger sættes lig med 0,5 gange detektionsgrænsen. Dette fremgår af figurerne 4.3a til 4.3d og 4.4a til 4.4f.

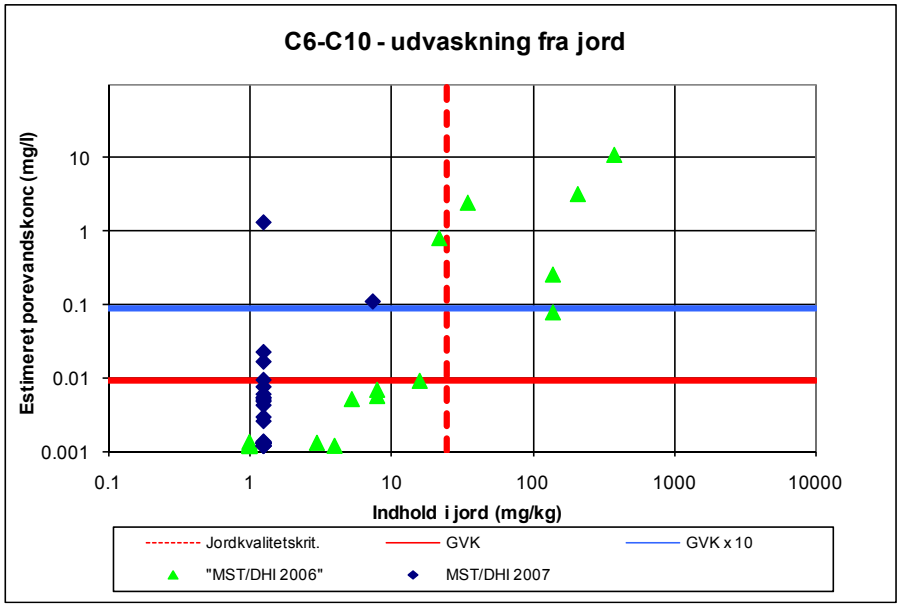
Grænseværdien for sum af kulbrinter er ikke fastsat ud fra de udvaskningsdata, der er til rådighed, men baseret på de grænseværdier, der er fastsat for kulbrintefraktionerne. Dette skyldes, at en grænseværdi sat isoleret for sum af kulbrinter på baggrund af udvaskningsdata vil blive bestemt ud fra den mest udvaskelige fraktion og derfor blive lig med eller endog lavere end grænseværdien for den mest udvaskelige fraktion. Da grænseværdierne for de enkelte kulbrintefraktioner og grænseværdien for sum af kulbrinter skal være opfyldt samtidig, er det rimeligt at sætte grænseværdien for sum af kulbrinter lig med grænseværdien for den tungeste fraktion af kulbrinter.

Opdeling af kulbrinter i nye fraktioner medførte, at datamaterialets omfang for kulbrinter blev reduceret (dog ikke for C_6-C_{10}-fraktionen, hvor fraktionsopdelingen er uændret). For 27 af jordprøverne var det muligt at beregne kulbrintefraktionerne efter den nye opdeling for såvel udvaskning som faststofindhold, dog er disse prøver analyseret efter den gamle analysemetode (VKI-metoden, 1998).

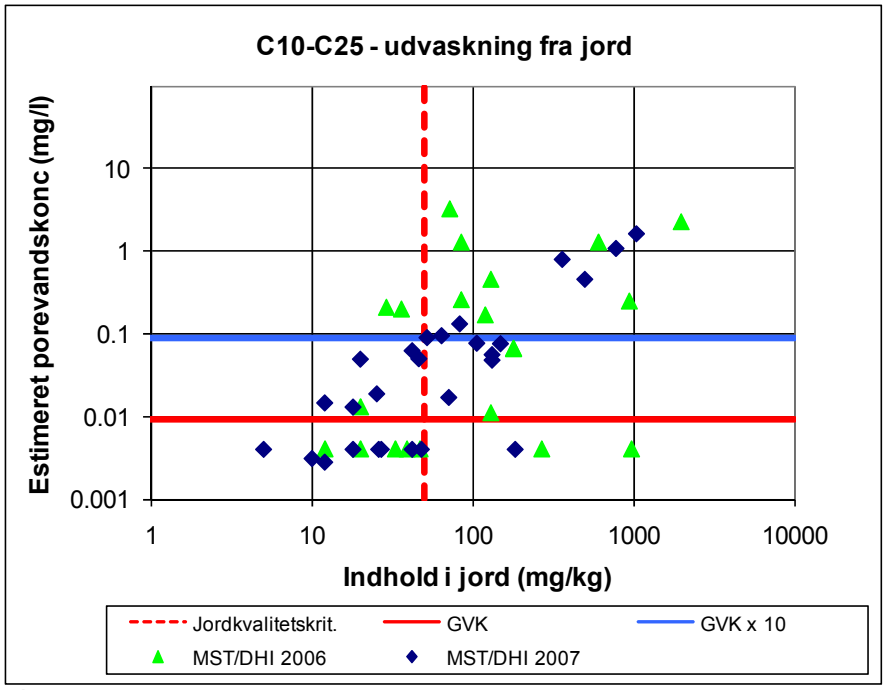
Kulbrinter opdelt i traditionelle fraktioner



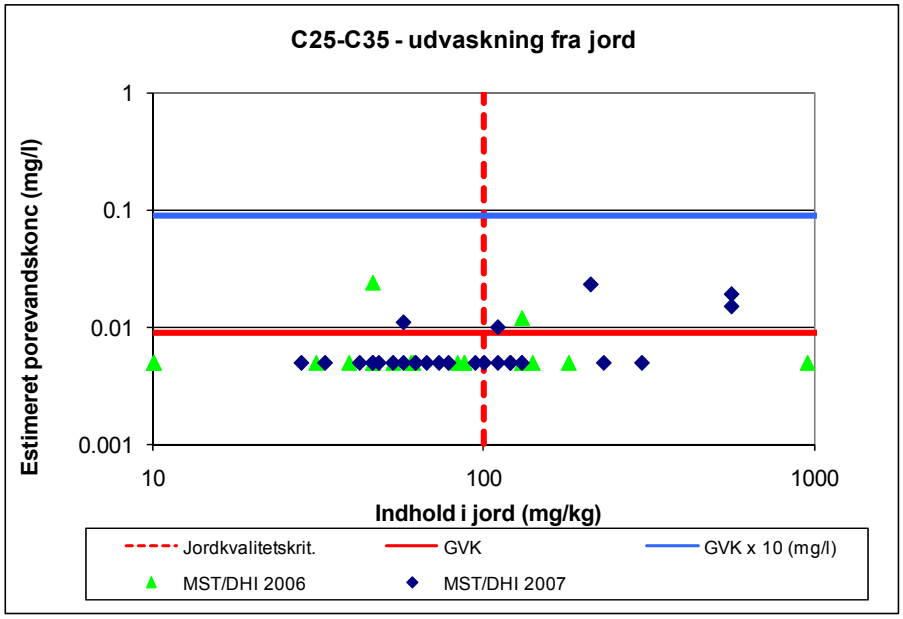
Figur 4.3a
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.3b
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

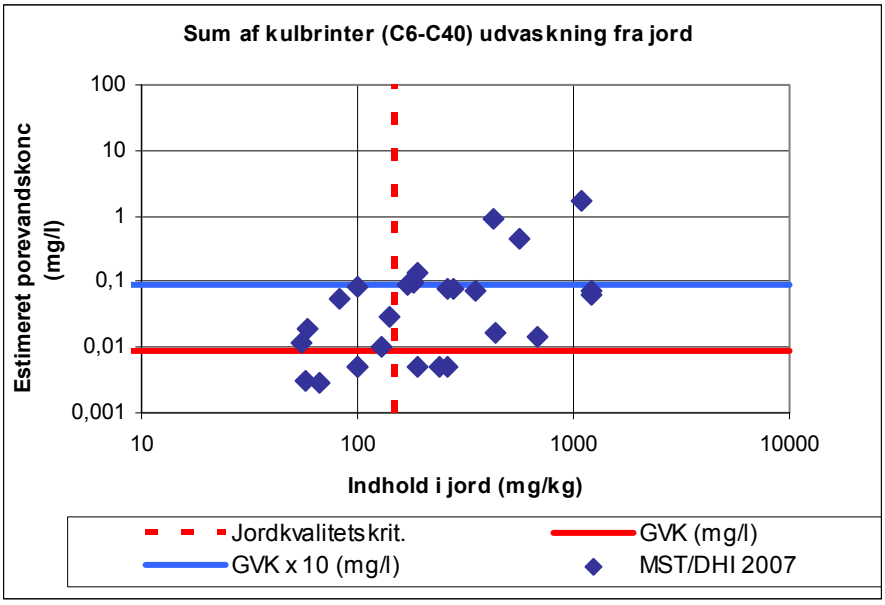


Figur 4.3c
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

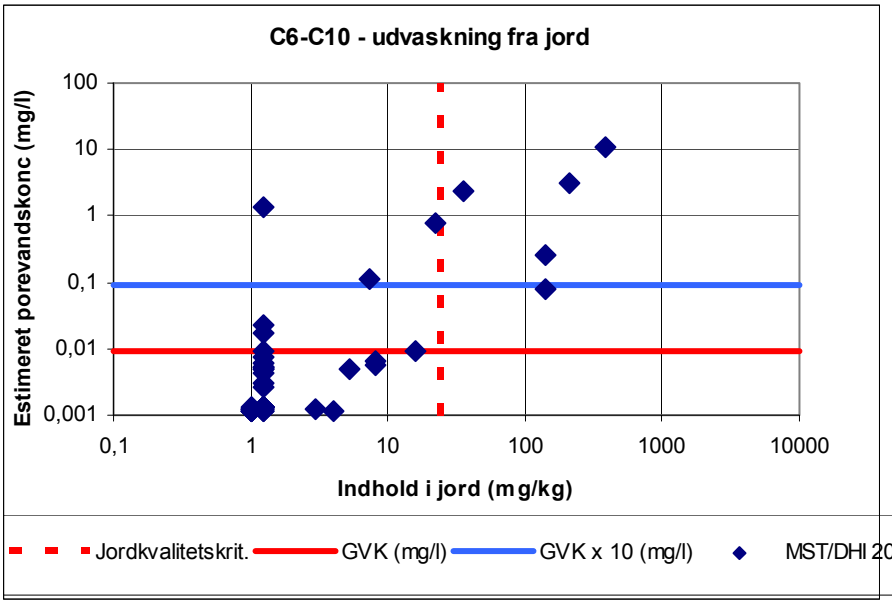


Figur 4.3d
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

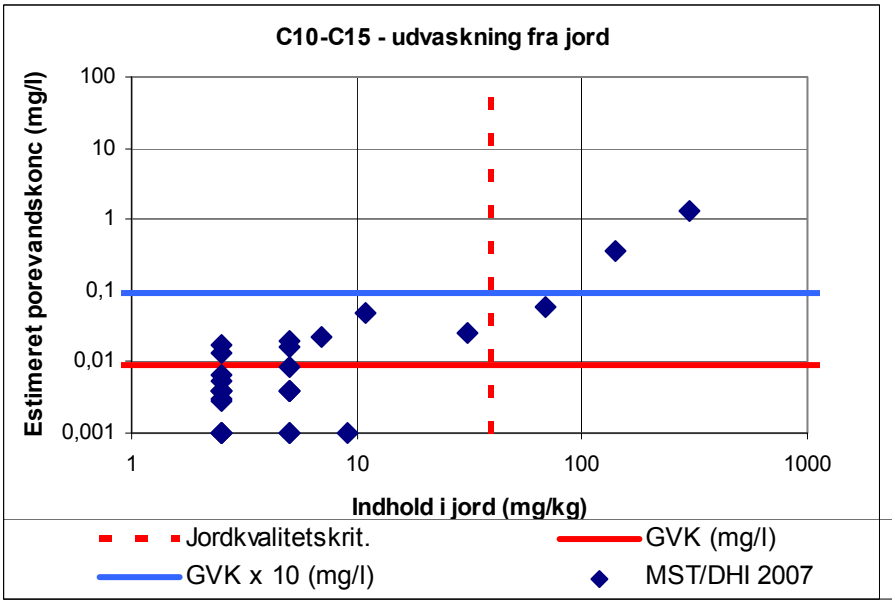
Kulbrinter opdelt i fraktioner, officielle pr. 7. januar 2008



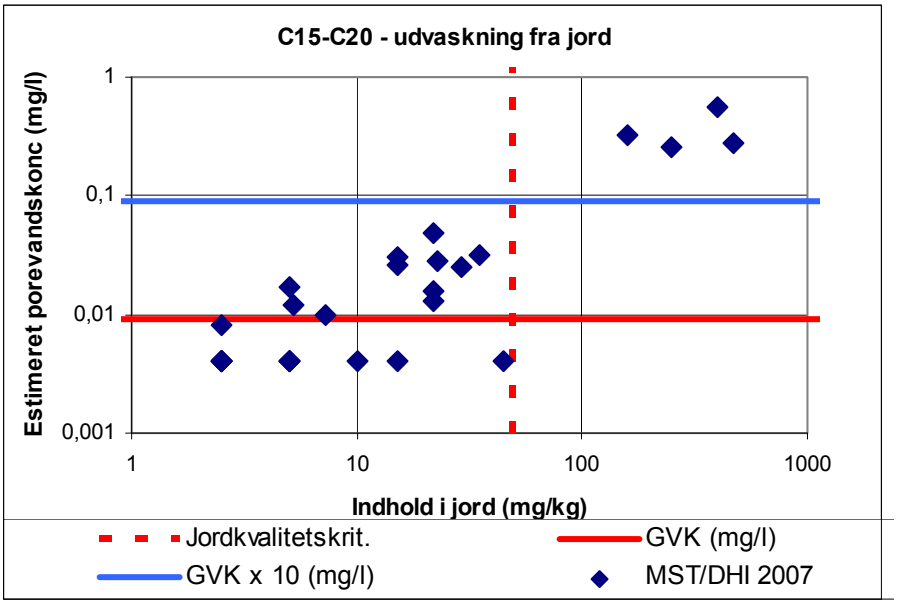
Figur 4.4a
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



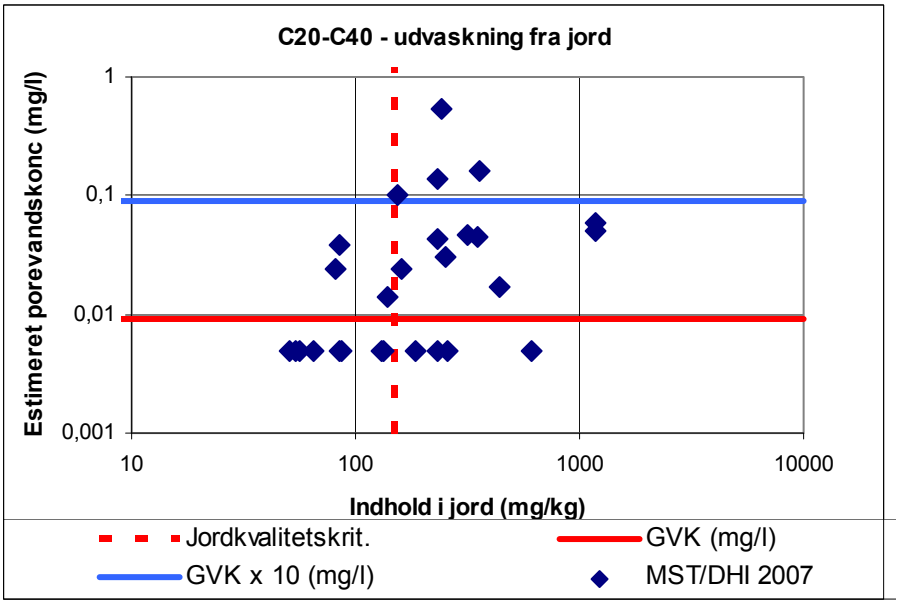
Figur 4.4b
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.4c
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.4d
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.



Figur 4.4e
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til henholdsvis grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og 10 gange GVK. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet. Bemærk, at figuren er dobbeltlogaritmisk.

4.2 Forslag til grænseværdier - model 1

Det er i første omgang vurderet, om det er muligt at anvende jordkvalitetskriterierne som grænseværdier for kategori 1-jord. Vurderingen er baseret på, at grænseværdien skal kunne opfylde de kriterier, der er givet i model 1.

Model 1:

For mere end 85% af jordprøverne med et faststofindhold mindre end den foreslåede kategori 1-grænseværdi skal porevandskoncentrationen være mindre end grundvandskvalitetskriteriet, og 100% af prøverne skal overholde 10 gange grundvandskvalitetskriteriet.

Resultaterne af vurderingen er vist i tabel 4.1 og 4.2 for de uorganiske stoffer og i tabel 4.3 for de organiske stoffer.

I vurderingen af jordkvalitetskriteriet som grænseværdi indgår kun de jordprøver, der overholder jordkvalitetskriteriet. Jordprøver, der overskrider jordkvalitetskriteriet, kan ikke komme i betragtning som kategori 1-jord og er derfor ikke med i denne vurdering. I tabel 4.1 og 4.2 er antallet af jordprøver mindre end jordkvalitetskriteriet opgivet for hver parameter. Det totale antal af jordprøver, der er til rådighed er ligeledes opgivet (se kolonne med "antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt). Ud af de jordprøver, der er mindre end jordkvalitetskriteriet, er det for hver parameter bestemt, hvor stor en andel (i procent) af prøverne, der overholder hhv. grundvandskvalitetskriteriet og 10 gange grundvandskvalitetskriteriet (jf. de sidste to kolonner i tabel 4.1 og 4.2).

Tabel 4.1
Vurdering af, hvorvidt jordkvalitetskriterierne (JKK) for de uorganiske stoffer opfylder kravene i model 1 til fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord. Kun jordprøver med et faststofindhold mindre end JKK indgår i vurderingen af, hvorvidt hhv. GVK og 10 gange GVK er overholdt.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium (GVK) mg/l	Jordkvalitets-kriterium (JKK) mg/kg	Antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt	Andel af jordprøver mindre end GVK %	Andel af jordprøver mindre end 10 gange GVK %
As	0,008	20	93 / 168	82	100
Ba	0,7[a]	-	65 / 65	97	100
Cd	0,0005	0,5	67 / 126	82	94
Cr	0,025	500	155 / 165	80	98
Cu	0,1	500	158 / 168	77	99
Hg	0,0001	1	40 / 60	78	98
Mo	0,02	5	29 / 38	41	93
Ni	0,01	30	127 / 159	65	96
Pb	0,001	40	40 / 152	20	80
Sb	0,002[a]	-	42 / 42	14	69
Se	0,01[a]	-	37 / 37	76	100
Zn	0,1	500	129 / 167	69	94

[a]: Kvalitetskriterium for drikkevand (BEK 1449:2007).

Det fremgår af tabel 4.1, at kun barium (Ba) overholder kriterierne i model 1. Det må derfor konkluderes, at jordkvalitetskriterierne for de uorganiske stoffer ikke umiddelbart kan opfylde de krav, der er opstillet til beskyttelse af grundvandet ved genanvendelse af kategori 1-jord.

For en række er jordprøverne, der indgår i det samlede datamateriale, er pH-værdien større end ni, og for enkelte andre prøver er pH-værdien mindre end seks. Da pH-værdien vides at have stor betydning for udvaskningen af metaller fra jord (se f.eks. DHI, 2007), opstilles et supplerende krav til pH-værdien i eluatet: 6<pH<9. Jordprøver, der i udvaskningstesten viste pH-værdi større end ni eller mindre end seks, tages ud af datamaterialet, ligesom de prøver, hvor pH-værdien ikke er oplyst, sorteres fra. Jordkvalitetskriteriet vurderes igen på de prøver, som opfylder kravet til pH-værdien. Resultatet af vurderingen er vist i tabel 4.2. I Bilag D ses en grafisk afbildning af de datasæt, som opfylder kravet til pH-værdien.

Tabel 4.2
Vurdering af, hvorvidt jordkvalitetskriterierne for de uorganiske stoffer opfylder kravene i model 1 til fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord, når pH-værdi i eluat er 6<pH<9. Kun jordprøver med et faststofindhold mindre end JKK indgår i vurderingen af, hvorvidt hhv. GVK og 10 gange GVK er overholdt.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium (GVK)	Jordkvalitets-kriterium (JKK)	Antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt	Andel af jordprøver mindre end GVK	Andel af jordprøver mindre end 10* GVK
	mg/l	mg/kg TS		%	%
As	0,008	20	70 / 105	79	100
Ba	0,7[a]	-	49 / 49	96	100
Cd	0,0005	0,5	56 / 90	88	96
Cr	0,025	500	108 / 111	88	99
Cu	0,1	500	104 / 122	86	100
Hg	0,0001	1	26 / 36	85	100
Mo	0,02	5	27 / 34	41	93
Ni	0,01	30	88 / 101	75	99
Pb	0,001	40	48 / 103	21	85
Sb	0,002[a]	-	38 / 38	16	71
Se	0,01[a]	-	35 / 35	77	100
Zn	0,1	500	91 / 104	79	97

[a]: Kvalitetskriteriet for drikkevand (BEK 1449:2007) er anvendt.

Det fremgår af tabel 4.2, at selv med det supplerende krav til pH-værdien i jordvæsken kan kravene i model 1 for hovedparten af parametrene ikke opfyldes. Det er således kun muligt at anvende jordkvalitetskriteriet for stofferne Ba, Cu og Hg. For de øvrige stoffer er det nødvendigt at fastsætte en lavere grænseværdi i henhold til model 1.

Resultatet af vurderingen af jordkvalitetskriteriet som grænseværdi for kategori 1-jord for organiske stoffer ses i tabel 4.3.

Tabel 4.3
Vurdering af, hvorvidt jordkvalitetskriterierne for de organiske stoffer opfylder kravene i model 1 til fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord. Kun jordprøver med et faststofindhold mindre end JKK indgår i vurderingen af, hvorvidt hhv. GVK og 10 gange GVK er overholdt.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium (GVK)	Jordkvalitets-kriterium (JKK)	Antal jordprøver mindre end JKK / antal jordprøver i alt	Andel af jordprøver mindre end GVK	Andel af jordprøver mindre end 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg TS		%	%
Sum af PAH	0,0002	4	32 / 56	84	100
Naphthalen	0,001	0,5	52 / 57	81	96
Benz(a)pyren	0,00001[a]	0,3	19 / 56	95	100
Dibenz(a,h)anthracen	-	0,3	45 / 56	93	98
Kulbrinter					
$C_{5/6}$-C_{10}	0,009	25[b]	42 / 47	86	93
C_{10}-C_{25}	0,009	50[c]	22 / 48	59	91
C_{25}-C_{35}	0,009	100[c]	29 / 46	93	100
Kulbrinter[d] (officielle pr 7-1-08)					
C_6-C_{10}	0,009	25[d]	42 / 47	86	93
C_{10}-C_{15}	0,009	40[d]	24 / 27	71	100
C_{15} - C_{20}	0,009	55[d]	23 / 27	52	100
C_{20}-C_{40}	0,009	150[d]	11 / 27	73	100

[a]: Drikkevandskvalitetskriterium BEK 1449:2007.
[b]: Jordkvalitetskriterium, VKI-analysemetode.
[c]: Kriterium for klasse 1 jord (Sjællandsvejledningen), VKI-analysemetode.
[d]: Ny analysemetode "Reflab metode 4".

Kun for stofferne benz(a)pyren og kulbrintefraktionen C_{25-35} er kravene i model 1 opfyldt, ved anvendelse af jordkvalitetskriteriet som grænseværdi for kategori 1-jord. For de øvrige stoffer er det nødvendigt at sætte en lavere grænseværdi for at kunne opfylde kravene i model 1.

Grænseværdier for kategori 1-jord, der kan opfylde kravene i model 1, er givet i tabel 4.4.

Tabel 4.4
Forslag til grænseværdier for kategori 1-jord, der vil sikre, at kravene i model 1er opfyldt. For uorganiske stoffer er det yderligere et krav at pH-værdien i eluatet skal være større end seks og mindre end ni (6<pH<9).

Parameter	JKK	Forslag til kategori 1-grænse	Kommentar
	mg/kg TS	mg/kg TS	
As	20	3,5	Forslag til grænseværdi er lavere end JKK
Ba	-		Alle data overholder betingelserne for at fastsætte en grænseværdi. Tallene tyder på, at udvaskning af Ba ikke udgør et problem for grundvandet
Cd	0,5	0,2	Forslag til grænseværdi er lavere end JKK
Cr	500	170	Forslag til grænseværdi er lavere end JKK
Cu	500	500	
Hg	1	1	
Mo	5	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
Ni	30	20	Forslag til grænseværdi er lavere end JKK
Pb	40	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
Sb	-	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
Se	-	1,5	
Zn	500	150	Forslag til grænseværdi er lavere end JKK
Sum af PAH	4	3	Grænseværdi lavere end JKK
Naphthalen	0,5	0,025	Grænseværdi lavere end JKK
Benz(a)pyren	0,3	0,3	
Dibenz(a,h)anthracen	0,3	0,19	Kun en prøve er årsag til, at JKK ikke opfylder kravene i model 1
Kulbrinter			
$C_{5/6}$-C_{10}	25[a]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
C_{10}-C_{25}	50[b]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
C_{25}-C_{35}	100[b]	100	
Kulbrinter[d] officielle pr 7/1-2008)			
C_6-C_{10}	25[c]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
C_{10}-C_{15}	40[c]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
C_{15} - C_{20}	55[c]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1
C_{20}-C_{40}	150[c]	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 1

[a]: Jordkvalitetskriterium, VKI-analysemetode.
[b]: Kriterium for klasse 1 jord (Sjællandsvejledningen), VKI-analysemetode.
[c]: Ny analysemetode "Reflab metode 4". Se endvidere fodnoter til kriterierne på www.mst.dk.

Som det fremgår af ovenstående, kan de erfaringsdata, der er indsamlet for de fleste parametre, ikke opfylde kravene i model 1, når jordkvalitetskriteriet anvendes som grænseværdi. Kun for Cu, Hg, benz(a)pyren og kulbrintefraktionen C_{25}-C_{35} kan jordkvalitetskriteriet anvendes som grænseværdi. Hvis grænseværdien sænkes, således at kravene i model 1 præcist er overholdt, er det yderligere muligt at foreslå grænseværdier for As,

Cd, Cr, Ni, Zn, sum af PAH, naphthalen, dibenz(a,h)anthracen. For parametrene Mo, Pb, Sb og kulbrintefraktionerne C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20}, C_{20}-C_{40} er det derimod ikke muligt på det foreliggende datagrundlag og med den valgte model at foreslå en grænseværdi for kategori 1-jord. For disse parametre overskrider mere end 15% af jordprøverne grundvandskvalitetskriteriet, uanset hvor lavt grænseværdien fastsættes.

Dette vil i princippet betyde, at fri anvendelse af jord i bygge- og anlægsarbejde ikke er mulig, hvis jorden indeholder parametrene Pb eller kulbrinter, hvilket jo oftest er tilfældet for den jord, der ønskes genanvendt. Tilsvarende gælder for Mo og Sb, at det ikke vil være muligt at foreslå en grænseværdi baseret på faststofindhold, som kan sikre overholdelse af model 1.

Der er derfor foretaget en ny vurdering, hvor kravene for at fastsætte grænseværdien er mindre restriktive end i model 1.

4.3 Forslag til grænseværdier - model 2

Model 2:

For mere end 75% af jordprøverne med et faststofindhold mindre end den foreslåede kategori 1-grænseværdi, skal porevandskoncentrationen være mindre end grundvandskvalitetskriteriet, og 95% af prøverne skal overholde 10 gange grundvandskvalitetskriteriet.

For uorganiske stoffer er det yderligere et krav, at pH-værdien i jordvæsken skal være større end 6 og mindre end 9.

Resultaterne af vurderingen ved anvendelse af model 2 er vist i tabel 4.5 for de uorganiske stoffer og i tabel 4.6 for de organiske stoffer.

Kun de jordprøver, der overholder jordkvalitetskriteriet for de enkelte parametre indgår i beregningen af, hvor stor en procentdel af prøverne, der overholder hhv. grundvandskvalitetskriteriet og 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. I tabel 4.5 og 4.6 er antallet af jordprøver mindre end jordkvalitetskriteriet opgivet for hver parameter. Det totale antal jordprøver, der er til rådighed, er ligeledes opgivet (se kolonne med ”antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt).

Tabel 4.5
Vurdering af jordkvalitetskriterier som kategori 1-grænseværdi for uorganiske stoffer i henhold til model 2. Det er et krav, at pH-værdi i eluat er 6<pH<9. Kun jordprøver med et faststofindhold mindre end JKK indgår i vurderingen af, hvorvidt hhv. GVK og 10 gange GVK er overholdt.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium (GVK)	Jordkvalitets-kriterium (JKK)	Antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt	Andel af jordprøver mindre end GVK	Andel af jordprøver mindre end 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg TS		%	%
As	0,008	20	70/105	79	100
Ba	0,7[a]	-	49/49	96	100
Cd	0,0005	0,5	56/90	88	96
Cr	0,025	500	108/111	88	99
Cu	0,1	500	104/122	86	100
Hg	0,0001	1	26/36	85	100
Mo	0,02	5			
Ni	0,01	30	88/101	75	99
Pb	0,001	40			
Sb	0,002	-			
Se	0,01[a]	-	30/35	87	100
Zn	0,1	500	91/104	79	97

[a]: Kvalitetskriteriet for drikkevand (BEK 1449:2007) er anvendt.

Tabel 4.6
Vurdering af jordkvalitetskriterier som kategori 1-grænseværdi for organiske stoffer i henhold til model 2. Kun jordprøver med et faststofindhold mindre end JKK indgår i vurderingen af, hvorvidt hhv. GVK og 10 gange GVK er overholdt.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium (GVK)	Jordkvalitets-kriterium (JKK)	Antal jordprøver mindre end JKK/antal jordprøver i alt	Andel af jordprøver mindre end GVK	Andel af jordprøver mindre end 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg TS		%	%
Sum af PAH	0,0002	4	32 / 56	84	100
Naphthalen	0,001	0,5	52 / 57	81	96
Benz(a)pyren	0,00001[a]	0,3	19 / 56	95	100
Dibenz(a,h)anthracen	-	0,3	45 / 56	93	98
Kulbrinter					
C_6-C_{10}	0,009	25[b]	42 / 47	86	93
C_{10}-C_{25}	0,009	50[c]	21 / 48	57	90
C_{25}-C_{35}	0,009	100[c]	29 / 46	93	100
Kulbrinter[d] (officielle pr 7/1-2008)					
C_6-C_{10}	0,009	25[d]	42 / 47	86	93
C_{10}-C_{15}	0,009	40[d]	24 / 27	71	100
C_{15} - C_{20}	0,009	55[d]	23 / 27	52	100
C_{20}-C_{40}	0,009	150[d]	11 / 27	73	100

[a]: Drikkevandskvalitetskriterium BEK 1449:2007.
[b]: Jordkvalitetskriterium, VKI-analysemetode.
[c]: Kriterium for klasse 1 jord (Sjællandsvejledningen), VKI-analysemetode
[d]: Ny analysemetode "Reflab metode 4". Se endvidere fodnoter til kriterierne på www.mst.dk.

Med det forhåndenværende datamateriale kan kravene i model 2 opfyldes af jordkvalitetskriterierne for As, Ba, Cd, Cu, Hg, Ni og Zn samt for PAH'er og kulbrintefraktionen C_{25}-C_{35}. For de øvrige kulbrintefraktioner vil det være nødvendigt at foreslå en lavere grænseværdi end jordkvalitetskriteriet, se tabel 4.7.

Tabel 4.7
Forslag til kategori 1-grænseværdi, der opfylder model 2.

Parameter	JKK	Forslag til kategori 1-grænseværdi	Kommentar
	mg/kg TS	mg/kg	
As	20	20	
Ba	-		Kan sættes frit
Cd	0,5	0,5	
Cr	500	500	
Cu	500	500	
Hg	1	1	
Mo	5	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 2
Ni	30	30	
Pb	40	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 2
Sb	-	-	Der kan ikke fastsættes en grænseværdi, som opfylder kravene i model 2
Se	-	1,5	
Zn	500	500	
Sum af PAH	4	4	
Naphthalen	0,5	0,5	
Benz(a)pyren	0,3	0,3	
Dibenz(a,h)anthracen	0,3	0,3	
Kulbrinter			
C_6-C_{10}	25[a]	20	Grænseværdi lavere end JKK
C_{10}-C_{25}	50[b]	-	
C_{25}-C_{35}	100[b]	100	
Kulbrinter[c] (officielle pr. 7/1-2008)			
C_6-C_{10}	25[c]	< 10[d]	Grænseværdi lavere end JKK
C_{10}-C_{15}	40[c]	<10	Grænseværdi lavere end JKK
C_{15} - C_{20}	55[c]	<10	Grænseværdi lavere end JKK
C_{20}-C_{40}	150[c]	130	Grænseværdi lavere end JKK

[a]: Jordkvalitetskriterium, VKI-analysemetode.
[b]: Kriterium for klasse 1 jord (Sjællandsvejledningen), VKI-analysemetode.
[c]: Ny analysemetode "Reflab metode 4". Se endvidere fodnoter til kriterierne på www.mst.dk.
[d]: Data tillader, at grænseværdien sættes til 20 mg/kg TS, se nedenstående diskussion.

Det er ikke muligt at foreslå en grænseværdi for Mo, Pb og Sb, hvor kravene i model 2 er overholdt. Dette skyldes, at udvaskningen for mere end 25% af

jordprøverne vil overstige grundvandskvalitetskriteriet, uanset hvor grænseværdien for faststofindholdet sættes. For Mo og Sb er dette måske mindre kritisk, da disse ikke er blandt de stoffer, som Miljøstyrelsen i første omgang påtænker at fastsætte grænseværdier for i forbindelse med genanvendelse af kategori 1-jord. Det skal dog bemærkes, at der ved deponering af jord vil blive opstillet kriterier også for disse stoffer, jf. Rådsbeslutningen om opstilling af acceptkriterier for deponering af affald (CEC 2003). Derimod er det mere problematisk for Pb, der vides at forekomme i forhøjede koncentrationer, bl.a. i diffust forurenet jord.

For fraktionerne C_{10}–C_{15} og C_{15}–C_{20} skal grænseværdien sættes så lavt, at den bliver lig den analytiske detektionsgrænse for, at kravene i model 2 kan overholdes. For kulbrintefraktionen C_6-C_{10} er situationen den, at datamaterialet tillader, at der fastsættes en grænseværdi på 20 mg/kg TS. Denne situation vil dog ikke være acceptabel, idet C_6-C_{10}-fraktionen generelt er lettere udvaskelig end fraktionerne C_{10}-C_{15} og C_{15}-C_{20}, hvor den foreslåede grænseværdi er lavere. For at opnå grænseværdier, der er i overensstemmelse med stofgruppernes, er det derfor foreslået, at grænseværdien for C_6-C_{10}–fraktionen sættes til samme værdi som for fraktionen C_{10}-C_{15}.

For kulbrinter opdelt efter den nye metode anbefales det at foretage en ny vurdering, når/hvis datagrundlaget forbedres. Det gælder især for den tunge fraktion af kulbrinterne (C_{20}-C_{40}), hvor datagrundlaget til fastsættelse af en grænseværdi er relativt spinkelt (otte jordprøver).

Grænseværdier for kategori 1-jord, der opfylder kravene i model 2 vil betyde, at jord til genanvendelse ikke må indeholde Pb, Mo og Sb samt kulbrinter i fraktionerne C_6-C_{10}, C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20}. Især på grund af kriteriet til Pb vil dette i praksis betyde, at størstedelen af jord til genanvendelse formentlig ikke vil kunne genanvendes under kategori 1.

4.4 Supplerende betragtninger

På baggrund af ovenstående resultater for Pb har det været et ønske at få gennemført en vurdering af, om det er muligt at fastsætte en grænseværdi, hvis eluatkoncentrationen ved L/S 2 l/kg anvendes til sammenligning med grundvandskvalitetskriteriet i stedet for den estimerede porevandskoncentration. Dette vil være et mindre konservativt vurderingsprincip end det, der er anvendt for de øvrige stoffer.

Det viste sig imidlertid, at det ikke var muligt at fastsætte grænseværdien, så kravet – om at eluatkoncentrationen for mere end 75% af jordprøverne skal være mindre end grundvandskvalitetskriteriet, og for 95% af prøverne mindre end ti gange grundvandskvalitetskriteriet – kunne opfyldes.

Bly er et stof, der under normale forhold tilbageholdes kraftigt i jorden. Dette fremgår bl.a. af, at Pb ikke er et typisk grundvandsforureningsproblem, jf. grundvandsovervågningsrapport fra GEUS (2007). I forbindelse med fastsættelse af en grænseværdi for Pb i kategori 1-jord ville det derfor være rimeligt at overveje et andet vurderingsprincip, der også tager hensyn til stoffets fysiske og kemiske egenskaber, herunder sorption.

I et tidligere projekt (DHI 2007) er der gennemført nogle modelberegninger baseret på forskellige genanvendelsesscenarier, som inddrager stoftransport i umættet og mættet zone. Fra resultaterne af modelberegningerne trækkes følgende scenarier frem (fra tabel 2.6 i DHI 2007):

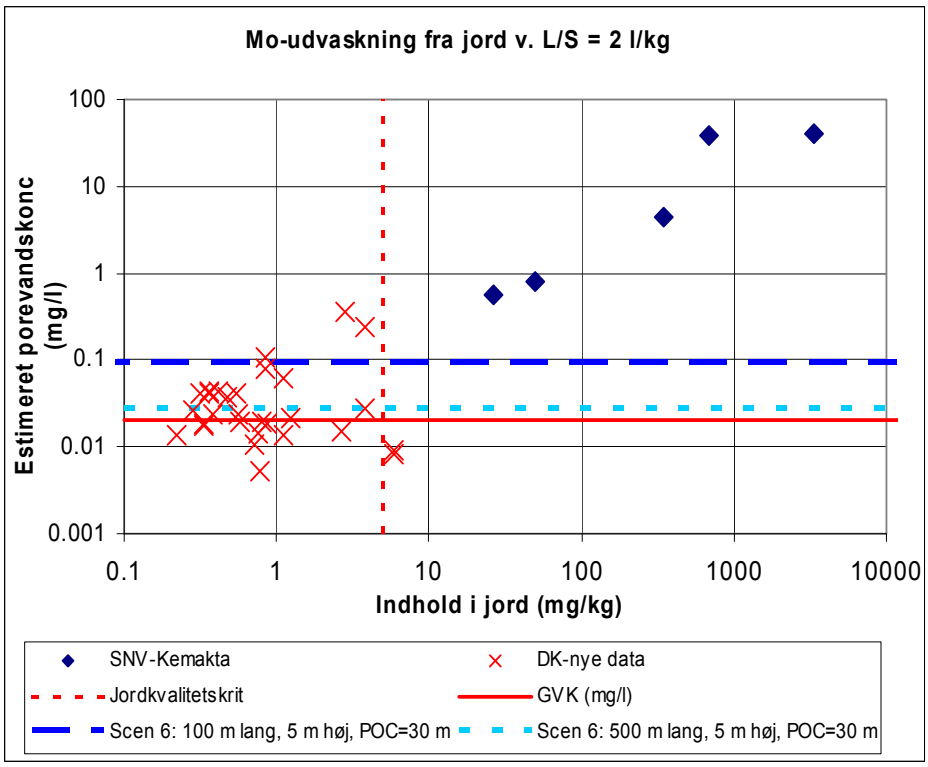
- ***Scenarium 6***: 100 m lang (parallelt med strømningsretningen) og 5 m høj genanvendelse. Det er forudsat at grundvandskvalitetskriteriet er overholdt 30 m fra genanvendelsen (POC=30 m)
- ***Scenarium X***: 500 m lang (parallelt med strømningsretningen) og 5 m høj genanvendelse. Det er forudsat, at grundvandskvalitetskriteriet er overholdt i 30 m fra genanvendelsen (POC=30 m)

For disse scenarier blev der opstillet grænseværdier baseret på udvaskningstest (opgivet i maksimal udvaskelig mængde ved L/S=2 l/kg: Mx). Disse grænseværdier kan omregnes til estimater af maksimale porevandskoncentrationer (Cp) svarende til, at grundvandskvalitetskriteriet skal forventes at være overholdt i en afstand af 30 m fra genanvendelsen. Det skal bemærkes, at kriteriet for Pb i POC ved beregningerne i DHI (2007, Bilag 1) var fastsat til 5 µg/l. Modelberegningerne er foretaget på det grundlag (og ikke med det nuværende GVK på 1 µg/l). Omregningen fra grænseværdi baseret på udvaskningstest (Mx) til grænseværdi baseret på krav til porevandskoncentrationen (Cp) er foretaget for Mo, Pb og Sb, og resultaterne er vist i tabel 4.8.

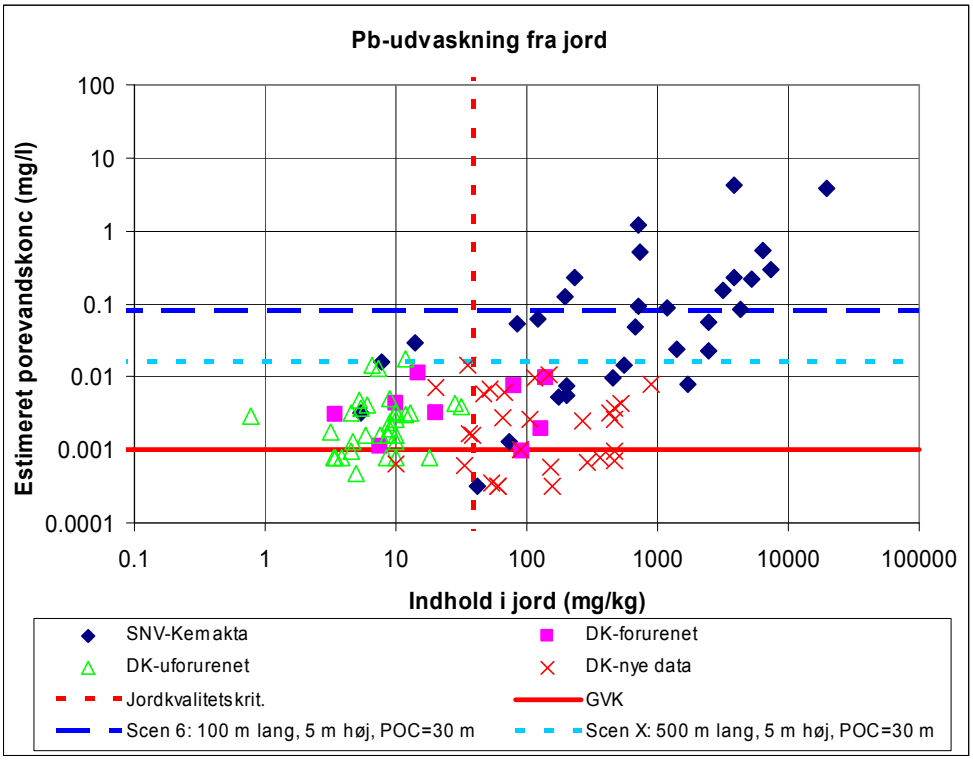
Tabel 4.8
Omregning af grænseværdi for udvalgte scenarier udtrykt som krav til udvasket mængde bestemt ved en udvaskningstest L/S=2 l/kg (Mx) til grænseværdi udtrykt som en porevandskoncentration (Cp).

	Mo		Pb		Sb	
	Mx (mg/kg)	Cp (mg/l)	Mx (mg/kg)	Cp (mg/l)	Mx (mg/kg)	Cp (mg/l)
Scenarium 6	0,1	0,092	0,1	0,08	0,0062	0,0038
Scenarium X	0,029	0,027	0,02	0,016	0,0036	0,0022

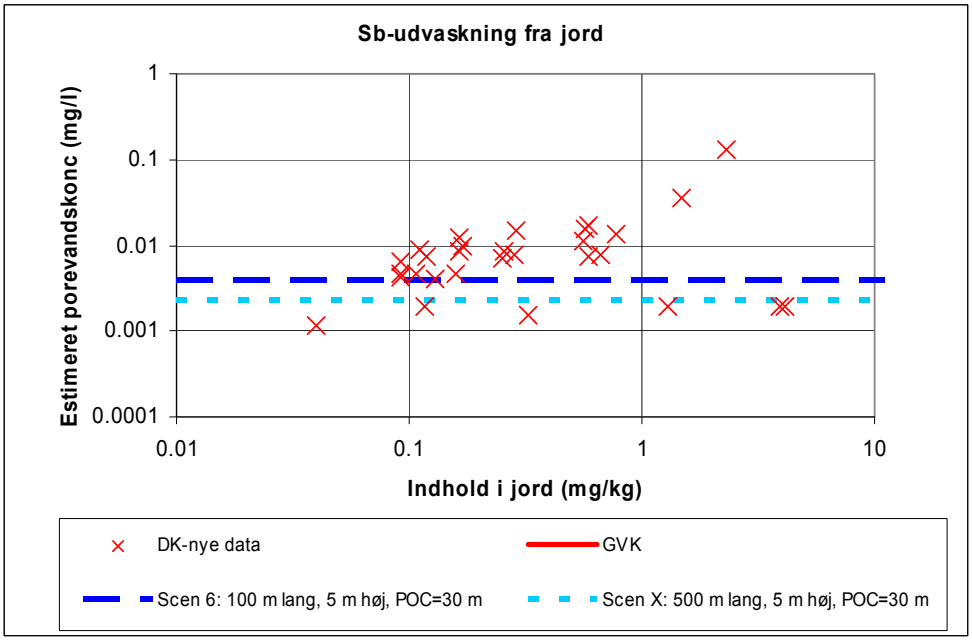
Grænseværdierne udtrykt som krav til porevandskoncentrationen (Cp) er for de to scenarier vist i figur 4.5 til 4.7 for hhv. Mo, Pb og Sb som vandrette stiplede linjer.



Figur 4.5
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til forskellige kriterier for indhold i porevandet baseret på hhv. grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og to forskellige genanvendelsesscenarier. Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet.



Figur 4.6
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til forskellige kriterier for indhold i porevandet baseret på hhv. grundvandskvalitetskriteriet (GVK) og to forskellige genanvendelsesscenarier (med kriterium i POC lig 5 µg/l). Den stiplede, lodrette linje angiver jordkvalitetskriteriet.



Figur 4.7
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer svarer til forskellige kriterier for indhold i porevandet baseret på to forskellige genanvendelsesscenarier.

De grænseværdier, der er fremkommet ved modelberegninger baseret på scenarier og stoftransport, er generelt højere end grundvandskvalitetskriterierne. Forholdet mellem scenariekriterierne og grundvandskvalitetskriterierne er beregnet for hver parameter.

- Mo: Udvaskningskriterierne baseret på scenarier er mellem 1,35 og 4,6 gange højere end grundvandskvalitetskriteriet
- Pb: Udvaskningskriterierne baseret på scenarier er mellem 16 og 80 gange højere end grundvandskvalitetskriteriet
- Sb: Udvaskningskriterierne baseret på scenarier er mellem 1,1 og 1,9 gange højere end grundvandskvalitetskriteriet

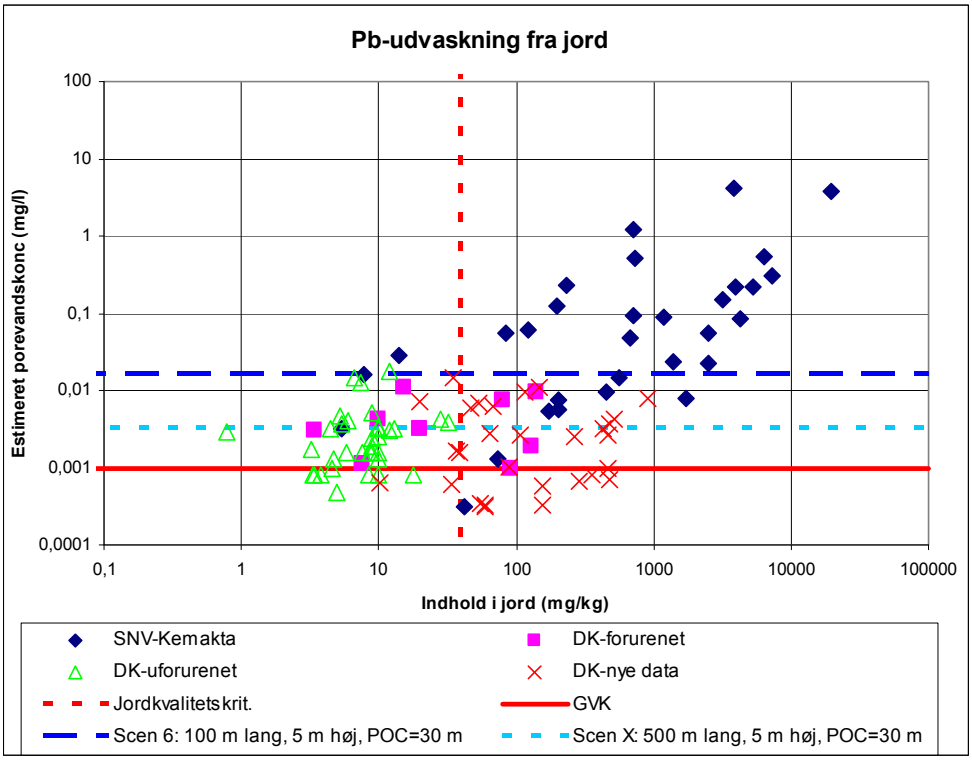
Ikke uventet ses det at have størst betydning for Pb, at stoftransport i umættet og mættet zone inddrages i vurderingerne. Stoftransporten har - som forventet - kun mindre betydning for Mo og Sb, der under normale forhold oftest optræder som oxyanioner.

For Pb fremgår det af figur 4.6, at alle jordprøver med et faststofindhold mindre end jordkvalitetskriteriet overholder kravet til porevandskoncentrationen for scenarium 6 (100 m lang og 5 m høj genanvendelse). Det betyder, at for scenarium 6 kan kvalitetskriteriet på 5 µg/l antages at være overholdt i en afstand på 30 m fra genanvendelsen. For scenarium X (500 m lang og 5 m høj genanvendelse) vil 96% af jordprøverne med et faststofindhold mindre end jordkvalitetskriteriet overholde kriteriet til porevandskoncentrationen, og ingen af de jordprøver, der overskrider kriteriet, overskrider med mere end 10 gange kriteriet.

Skal grundvandskvalitetskriteriet på 1 µg/l overholdes i POC, vil forskellen mellem udvaskningskriterier baseret på scenarieberegninger og grundvandskvalitetskriteriet groft skønnet blive reduceret med en faktor 5. Det betyder, at scenariekriterierne kun vil være en faktor 3 til 16 gange højere end grundvandskvalitetskriteriet (se figur 4.8).

For scenarium 6 (100 m lang og 5 m høj genanvendelse) betyder dette, at 96% af jordprøverne overholder kriteriet til porevandskoncentrationen, mens kun 65% af jordprøverne overholder kriteriet til porevandskoncentrationen i scenarium X (500 m lang og 5 m høj genanvendelse).

Hvis det accepteres at anvende scenarieberegninger til at fastsætte kategori 1-grænsen for Pb, er det således nødvendigt at supplere grænseværdien med et krav til maksimale dimensioner af genanvendelsesprojektet svarende til de dimensioner, der er anvendt i scenarieberegningerne.



Figur 4.8
Estimeret porevandskoncentration (L/S=0,27 l/kg) vs. faststofindhold. De vandrette linjer viser resultat af scenarieberegninger for Pb, hvor kriteriet i POC er lig GVK på 1 µg/l.

Tabel 4.9 indeholder forslag til grænseværdier for Pb i kategori 1-jord baseret på scenarieberegninger.

Tabel 4.9
Forslag til grænseværdier for Pb i kategori 1-jord.

Forslag til kategori 1-grænseværdi for Pb	Supplerende krav	Kommentar
40 mg/kg TS	6<pH<9 Anlægsdimensioner: maksimalt 100 m lang og 5 m høj	96% af alle jordprøver overholder hermed grundvandskvalitetskriteriet i POC=30 m
10 mg/kg TS	6<pH<9 Anlægsdimensioner: maksimalt 100 m lang og 5 m høj	100% af alle jordprøver overholder hermed grundvandskvalitetskriteriet i POC=30 m

5 Afprøvning af grænseværdier for kategori 1-jord

5.1 Afprøvning af grænseværdier

Grænseværdier for kategori 1-jord fastsat på baggrund af model 2 er afprøvet i forhold til at anslå, hvor stor en del af den overskudsjord, som forventes at skulle håndteres, der vil kunne omfattes af kategori 1. Vurderingen er foretaget ved hjælp af en database fra RGS 90, som indeholder ca. et års analyseresultater af diffust forurenet jord, modtaget hos RGS 90.

Efter igangsættelsen af dette projekt er der som tidligere nævnt blevet etableret nye jordkvalitetskriterier for kulbrinter i jord, og det har været Miljøstyrelsens ønske at grænseværdier for kategori 1-jord skulle baseres på den nye fraktionsopdeling. Dette har betydet, at der ikke kunne gennemføres en afprøvning af grænseværdierne for kulbrinter mod RGS 90-databasen, da resultaterne for kulbrinter i jord her er opdelt efter den traditionelle opdeling. På den baggrund var det Miljøstyrelsens opfattelse, at DHI ikke skulle afprøve grænseværdier for kulbrinter i forhold til RGS90-databasen. Det anses dog fortsat for at være relevant at afprøve grænseværdierne for de øvrige parametre i forhold til at klassificere jordene i databasen. Databasen indeholder analyseresultater for parametrene Cd, Cr, Cu, Ni, Pb Zn, benz(a)pyren, dibenzo(a,h)anthracen samt sum af PAH'er. De foreslåede grænseværdier for disse stoffer afprøves enkeltvis, og resultatet heraf er vist i tabel 5.1. Databasen indeholder ikke analyseresultater for As, Hg og naphthalen, hvorfor de foreslåede grænseværdier for disse parametre ikke kan afprøves.

Tabel 5.1
Afprøvning af forslag til kategori 1-grænseværdier mod erfaringsdata, tilpasning af grænseværdier (fastsættelseskriterium: mere end 95% af erfaringsdata skal være omfattet af kategori 1-jord).

Parameter	Forslag til kategori 1 grænseværdi	Antal af datasæt	Andel af datasæt, der overholder forslag til kategori 1-grænseværdi
	mg/kg TS		%
Cd	0,5	6.382	93
Cr	500	6.382	100
Cu	500	6.382	100
Ni	30	6.382	100
Pb*	10	6.382	16
Zn	500	6.382	99
Sum PAH	4	6.379	84
Benz(a)pyren	0,3	6.381	63
Dibenz(a,h)anthracen	0,3	6.381	94

*Miljøstyrelsen har ønsket at få vurderet hvor stor en andel af datasæt der overholder JKK på 40 mg/kg Ts. Anvendes 40 mg/kg TS som grænseværdi for Pb, vil 71% af datasættet overholde kategori 1-grænseværdien.

Som det fremgår af tabel 5.1, er Pb den parameter, hvor grænseværdien er overskredet flest gange. 16% af jordene i databasen overholder kategori 1-grænseværdien for Pb. Efter Pb er benz(a)pyren den parameter, hvor den foreslåede grænseværdi overskrides hyppigst. For benz(a)pyren overholder ca. 60% af jordene i databasen den foreslåede grænseværdi. For Cr, Cu og Ni ses det af tabel 5.1, at alle jordprøver overholder den foreslåede grænseværdi.

Ved en samlet klassificering efter de foreslåede grænseværdier vil ca. 13% af jordene i databasen kunne klassificeres som kategori 1-jord. Det skal dog understreges, at de foreslåede grænseværdier for kulbrinterne ikke indgår i vurderingen.

Resultatet af denne afprøvning giver ikke anledning til at ændre forslaget til grænseværdi for kategori 1-jord.

5.2 Simpel konsekvensvurdering i forhold til grundvand

For at muliggøre fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord - baseret på erfaringsdata for udvaskning fra jord - har det været nødvendigt at tillade, at op til 25% af jordprøverne havde en estimeret porevandskoncentration, der var højere end grundvandskvalitetskriteriet, og for op til 5% måtte denne overskridelse være større end 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. Målet med denne konsekvensvurdering er derfor på simpel vis at vurdere betydningen af at tillade disse overskridelser af grundvandskvalitetskriteriet. For de enkelte stoffer baseres vurderingen på de procentuelle overskridelser af grundvandskvalitetskriteriet, der er registreret ved fastsættelsen af grænseværdier for kategori 1-jord. F.eks. gælder det for Cd, at for 8% af prøverne er porevandskoncentrationen større end grundvandskvalitetskriteriet, og for 4% er koncentrationen større end 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. Porevandskoncentrationen for den procentdel af prøver, der overskrider hhv. grundvandskvalitetskriteriet og 10 gange grundvandskvalitetskriteriet fastsættes efter følgende princip:

- For den procentdel, hvor porevandskoncentrationen er større end GVK, sættes koncentrationen i konsekvensvurderingen lig 10 gange GVK

- For den procentdel, hvor porevandskoncentrationen er større end ti gange GVK, sættes koncentrationen i konsekvensvurderingen lig gennemsnittet af de estimerede porevandskoncentrationer, der ligger over 10 gange GVK

Da forslaget til grænseværdi for kategori 1-jord for kulbrintefraktionerne C_6-$C_{10,}$ C_{10}-C_{15} og C_{15}-C_{20} er sat til værdier, der er mindre end de tilhørende analytiske detektionsgrænser, giver det ikke mening at gennemføre en konsekvensvurdering for disse stoffer på det foreliggende grundlag. Ligeledes er Pb heller ikke inddraget i vurderingen, da forslaget til grænseværdi er baseret på scenarieberegninger, hvor grundvandskvalitetskriteriet skal være overholdt i en afstand på 30 m.

Tabel 5.2 beskriver datagrundlaget for konsekvensvurderingen. Konsekvensvurderingerne er foruden at være forsimplet også konservativ, idet faststofgrænseværdien er baseret på udvaskning svarende til den maksimale udvaskning, der forekommer i udvaskningsforløbet. Konsekvensvurderingen er foretaget ud fra en simpel arealbetragtning, hvor det antages, at en vis

maksimal andel (ak1) af oplandsarealet vil blive dækket af kategori 1-jord. Vurderingsprincippet er simpel forholdstalsberegning. Stoffernes fysiske og kemiske egenskaber i jord er ikke inddraget i vurderingerne. Det antages, at for den del af arealet, der ikke er dækket af genanvendt jord (1-ak1), er baggrundskoncentrationen i grundvandet og i det infiltrerende vand lig nul mg/l. Herved bliver det den potentielle tilvækst i grundvandskoncentrationen, som beregnes.

Tabel 5.2
Datagrundlag for simpel konsekvensvurdering af kategori 1-grænseværdier i forhold til grundvand.

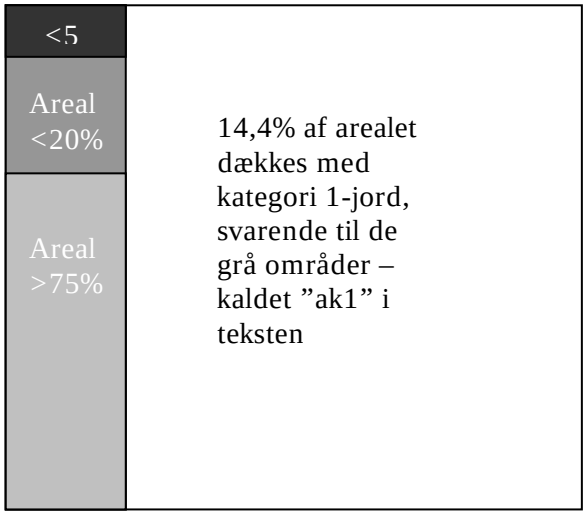
Parameter	**Forslag til grænseværdier for kategori 1-jord**	**Andel prøver større end GVK**	**Værdi til konsekvens-vurdering for andel større end GVK (sat lig GVK*10)**	**Andel prøver >10*GVK**	**Værdi til konsekvensvurdering for andel større end 10 gange GVK (sat lig gennemsnit af prøver, der overstiger 10 gange GVK)**
	mg/kg ts	%	mg/l	%	mg/l
As	20	21	0,08	0	Ikke relevant
Ba	Kan sættes frit	4	7	0	Ikke relevant
Cd	0,5	8	0,005	4	0,0076
Cr	500	11	0,25	1	0,26
Cu	500	14	1	0	Ikke relevant
Hg	1	15	0,001	0	Ikke relevant
Ni	30	24	0,1	1	1,8
Se	1,5	13	0,1	0	Ikke relevant
Zn	500	18	1	3	11,2
Sum af PAH	4	16	2	0	Ikke relevant
Naphthalen	0,5	15	0,01	4	0,018
Benz(a)pyren	0,3	5	0,0001	0	Ikke relevant
Dibenz(a,h)anthracen	0,3	5	0,0001	2	0,00015
Kulbrinter					
C20-C40	130	25	0,09	0	Ikke relevant

Den del af arealet, der dækkes med kategori 1-jord (ak1), kan deles op i tre enheder, hvorpå kategori 1-jord med forskellig forventet udvaskning anbringes (se figur 5.1).

1. Mindst 75% af arealet ”ak1” medfører infiltration til grundvandsoplandet med stofkoncentrationer svarende til grundvandskvalitetskriterierne. Som det fremgår af tabel 3.2 betyder det f.eks. for Cd, at dette areal er lig 100%-(8+4)% = 88% af ”ak1”, der bidrager med koncentrationen lig med grundvandskvalitetskriteriet (0,0005 mg/l);

2. Højst 20% af arealet ”ak1” medfører infiltration til grundvandsoplandet med en koncentration lig med 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. For Cd er dette areal 8% af ”ak1”, der bidrager med koncentrationen lig med 10 gange GVK (0,005 mg/l);

3. De resterende højst 5% af arealet ”ak1” medfører infiltration til grundvandsoplandet med en koncentration større end 10 gange GVK. For Cd er dette areal 4% af ”ak1”, som bidrager med koncentrationen lig med den aktuelt beregnede for dataene (0,0076 mg/l).



Figur 5.1
Skitse af genanvendelsesscenarie til brug i konsekvensvurderingen.

Størrelsen af arealet ”ak1”, der maksimalt kan blive dækket af kategori 1-jord, er væsentlig for resultatet af vurderingerne og kan diskuteres. Det er her antaget, at på et opland på én km^2 (én gange én km), kan der være op til to kilometer motorvej (f.eks. et motorvejskryds). Dette betyder, at der indenfor det opland potentielt er fire km støjvolde.

Støjvoldenes dimensioner antages til 36 m i bredde (vurderingerne er uafhængige af højden). For 4 km støjvolde vil dette svare til, at 0,144 km^2 eller 14,4% af arealet dækkes af kategori 1-jord. Denne værdi er anvendt som ”ak1” i de følgende beregninger, jf. tabel 5.3.

Påvirkningen (estimeret som maksimal tilvækst) varierer afhængigt af, hvilket stof der er tale om, mellem 20 og 86% af GVK. Den største påvirkning på 86% kommer fra Zn. Dette skyldes primært, at 3% af dataene overskrider 10 gange grundvandskvalitetskriteriet, og at den gennemsnitlige overskridelse er mere end 100 gange grundvandskvalitetskriteriet. For de fleste stoffer vil genanvendelse af kategori 1-jord i det valgte scenarie betyde en forøgelse af grundvandskoncentrationen på mellem 30 og 45% i forhold til grundvandskvalitetskriteriet, jf. tabel 5.3.

Det skal understreges, at denne vurdering er en konservativ konsekvensvurdering, hvor simple estimater af resulterende stofkoncentrationer sammenlignes direkte med grundvandskvalitetskriteriet, som beskrevet i projektoplægget i Bilag A. Denne metodik tillader ikke, at der tages hensyn til stoffernes fysiske og kemiske egenskaber, som har betydning for stoftransporten i såvel umættet som mættet grundvandszone.

Tabel 5.3
Tilvækst i grundvandskoncentration ved genanvendelse af kategori 1-jord udtrykt i forhold til grundvandskvalitetskriteriet. Baggrundskoncentrationen i grundvandet (som er vist i tabellen) er sat til 0 mg/l for alle stoffer ved beregningen. Resultaterne bygger på simple arealbetragtninger.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterier (GVK)	Resulterende koncentration efter genanvendelse	Ændring i forhold til GVK
	mg/l	mg/l	%
As	0,008	0,0033	42
Ba	0,7	0,14	20
Cd	0,0005	0,00016	33
Cr	0,025	0,0075	30
Cu	0,1	0,033	33
Hg	0,0001	0,000034	34
Ni	0,01	0,0071	71
Se	0,002	0,0031	31
Zn	0,1	0,086	86
Sum af PAH	0,0002	0,070	35
Naphthalen	0,001	0,00044	44
Benz(a)pyren	0,00001	0,0000021	21
Dibenz(a,h)anthracen		2,49E-06	25
Kulbrinter			
C20-C40	0,009	0,0042	47

6 Faststofgrænseværdier for kategori 2-jord ved brug af membran

6.1 Effekt af anvendelse af bundmembran

Etablering af en bundmembran i forbindelse med genanvendelse af kategori 2-jord vil betyde, at perkolatet vil blive opsamlet og bortledt i den periode, hvor membranen fungerer. Når membranen holder op med at fungere, og perkolatet derefter vil sive ned til grundvandet, vil udvaskningen af forureningsstoffer fra jorden have stået på i et stykke tid. For nogle parametre betyder det, at kildestyrken er væsentligt reduceret, fordi udvaskningen af disse stoffer primært sker i begyndelsen af perioden, mens kildestyrken for andre stoffer stort set vil være uændret, fordi udvaskningen som funktion af tiden ikke ændrer sig væsentligt.

For at kunne fastsætte grænseværdier for kategori 2-jord, der opfylder kravet om, at porevandskoncentrationen kan overholde grundvandskvalitetskriterierne ved ophør af membranens funktionsdygtighed, er det nødvendigt for hver enkelt parameter at estimere reduktionen i kildestyrken, som skyldes anvendelse af membran.

Til beregning heraf anvendes en model til beskrivelse af en tidsvarierende kildestyrke, som DHI i andre sammenhænge har anvendt, f.eks. til beregning af deponerings- og genanvendelsesscenarier (DHI 2007, DHI og Miljøstyrelsen 2006). Kildestyrken er beskrevet ved:

$$C = C_0 \cdot e^{-\kappa \cdot L/S}$$

hvor

C er koncentrationen af det aktuelle stof i perkolatet som funktion af L/S (mg/l)

C_0 er startkoncentrationen (den højeste, indledende koncentration) af stoffet i perkolatet (mg/l)

L/S er det akkumulerede væske-/faststofforhold (l/kg), der svarer til koncentrationen C

κ er en førsteordens konstant, der beskriver den hastighed, hvormed koncentrationen af et givet stof aftager som funktion af L/S (kg/l)

For hvert af de otte scenarier, som er defineret i afsnit 1.3.2, tabel 1.1, er porevandskoncentrationen for et givet stof beregnet for det tidspunkt, hvor membranen ophører med at fungere. Resultaterne af beregningerne er opgivet som en procentdel af den porevandskoncentration, der kunne forventes på starttidspunktet. Resultaterne er vist i tabel 6.1. Til beregning af reduktionen i kildestyrken har det været nødvendigt for kulbrinterne at anvende modelstoffer, idet beregningerne ikke kan gennemføres for en samleparameter. Af hensyn til forsigtighedsprincippet er det valgt at anvende en parameter, som giver en konservativ vurdering. Valg og anvendelse af modelparametre i scenarieberegninger er diskuteret i DHI (2007).

Tabel 6.1
Perkolatkoncentrationen ved ophør af perkolatopsamlingen for de otte skitserede scenarier, angivet i procent af perkolatkoncentrationen på starttidspunktet.

Scenarium:		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Bundmembranens levetid (år)		60				100			
Højde (m)		5		10		5		10	
Nettonedbør (mm/år)		200	350	200	350	200	350	200	350
L/S-værdi opnået i løbet af perioden (l/kg)		1,6	2,8	0,80	1,4	2,7	4,7	1,3	2,3
Parameter	Repræsentativ parameter	%	%	%	%	%	%	%	%
As	As	95	92	98	96	92	87	96	93
Ba	Ba	79	66	89	81	67	50	82	70
Cd	Cd	45	25	67	50	26	9,7	51	31
Cr(total)	Cr(total)	75	60	87	78	61	43	79	66
Cu	Cu	64	46	80	68	47	27	69	52
Hg	Hg	92	87	96	93	88	79	94	89
Mo	Mo	57	38	76	61	39	20	63	44
Ni	Ni	63	44	79	67	46	26	68	51
Pb	Pb	65	47	81	69	49	28	70	53
Sb	Sb	84	74	92	86	75	60	86	77
Se	Se	54	35	74	59	36	17	60	41
Zn	Zn	64	46	80	68	48	27	69	52
sum PAH'er	Fluoranthen	99,9	99,8	99,9	99,9	99,8	99,6	99,9	99,8
Naphthalen	Naphthalen	89	82	94	90	82	71	91	84
Benz(a)pyren	Fluoranthen	99,9	99,8	99,9	99,9	99,8	99,6	99,9	99,8
Dibenz(a,h)anthracen	Fluoranthen	99,9	99,8	99,9	99,9	99,8	99,6	99,9	99,8
Kulbrinter									
C_6-C_{10}	Toluen	58	39	76	62	40	20	64	45
C_{10}-C_{15}	Dekan	100	100	100	100	100	100	100	100
C_{15}-C_{20}	Pentadekan	100	100	100	100	100	100	100	100
C_{20}-C_{40}	Pentadekan	100	100	100	100	100	100	100	100

Porevandskoncentrationen kan på baggrund af resultaterne i tabel 6.1 for hvert scenarium og hver enkelt parameter estimeres for det tidspunkt, hvor membranen holder op med at fungere.

På baggrund af de indsamlede data (resultater for udvaskning og faststofindhold) estimeres porevandskoncentrationen for de enkelte jordprøver for det tidspunkt, hvor membranen ophører med at fungere, og disse danner grundlag for at vurdere om Miljøstyrelsens forslag til grænseværdier for kategori 2-jord udgør en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet.

6.2 Kategori 2-grænseværdier ved størst reduktion af kildestyrke

For at få et indtryk af, om kildestyrken ved anvendelse af bundmembran kan reduceres tilstrækkeligt til, at porevandskoncentrationen kan antages at overholde grundvandskvalitetskriterierne, betragtes først det scenarium, hvor der opnås den største reduktion i kildestyrken.

Den største reduktion i udvaskningen opnås for scenarium 6 (se tabel 6.1):

- Membranens levetid på 100 år
- Gennemsnitlig nettonedbør på 350 mm/år
- Anlægshøjde på 5 m

Hvis porevandskoncentrationen kan overholde grundvandskvalitetskriteriet (jf. model 2) for dette scenarium, betyder det, at der ved ophør af membranens levetid er opnået tilstrækkelig reduktion i udvaskningen til at beskytte grundvandet. Viser vurderingen, at grundvandskvalitetskriterierne ikke er overholdt, vil det heller ikke være muligt for de øvrige scenarier, hvor reduktionen i udvaskningen er lavere.

Tabel 6.2 indeholder resultaterne af vurderingen. Som det kan ses af tabel 6.2, er kravene til, hvornår grundvandskvalitetskriterierne er overholdt (jf. model 2), opfyldt for størstedelen af parametrene, dog ikke for Pb, Sb, naphthalen samt kulbrintefraktionerne C_{10}-C_{15}, C_{15}-C_{20},C_{20}-$C_{40.}$ For disse parametre vil det være nødvendigt at foreslå en grænseværdi, som er lavere end den Miljøstyrelsen har foreslået, uanset hvilket scenarium der lægges til grund for vurderingen.

6.3 Kategori 2-grænseværdier ved mindste reduktion af kildestyrke

For de parametrene, der overholder grundvandskvalitetskriterierne er vurderingen foretaget under de optimale udvaskningsforhold, som gav den største reduktion i kildestyrken. Det vurderes nu, om disse parametre også vil kunne overholde kravene under mindre optimale betingelser. Til det formål anvendes det scenarium, som giver den mindste reduktion i udvaskningen (scenarium 3):

- Membranens levetid på 60 år
- Gennemsnitlig nettonedbør på 200 mm/år
- Anlægshøjde på 10 m

Stofbelastningen ved ophør af membranens funktionsdygtighed er beregnet på samme måde som for scenarie 6. Figur 6.1 til 6.3 viser for de enkelte jordprøver den forventede porevandskoncentration efter 60 år. Figurerne angiver ligeledes med vandrette streger grundvandskvalitetskriteriet samt 10 gange grundvandskvalitetskriteriet.

Resultaterne af vurderingen fremgår af tabel 6.3. Det ses, at størstedelen af parametrene kan opfylde kravene for overholdelse af grundvandskvalitetskriterierne (jvf. model 2). Dog har det mere restriktive scenarium yderligere medført, at det vil være nødvendigt at sænke grænseværdien også for Mo for at overholde grundvandskvalitetskriteriet.

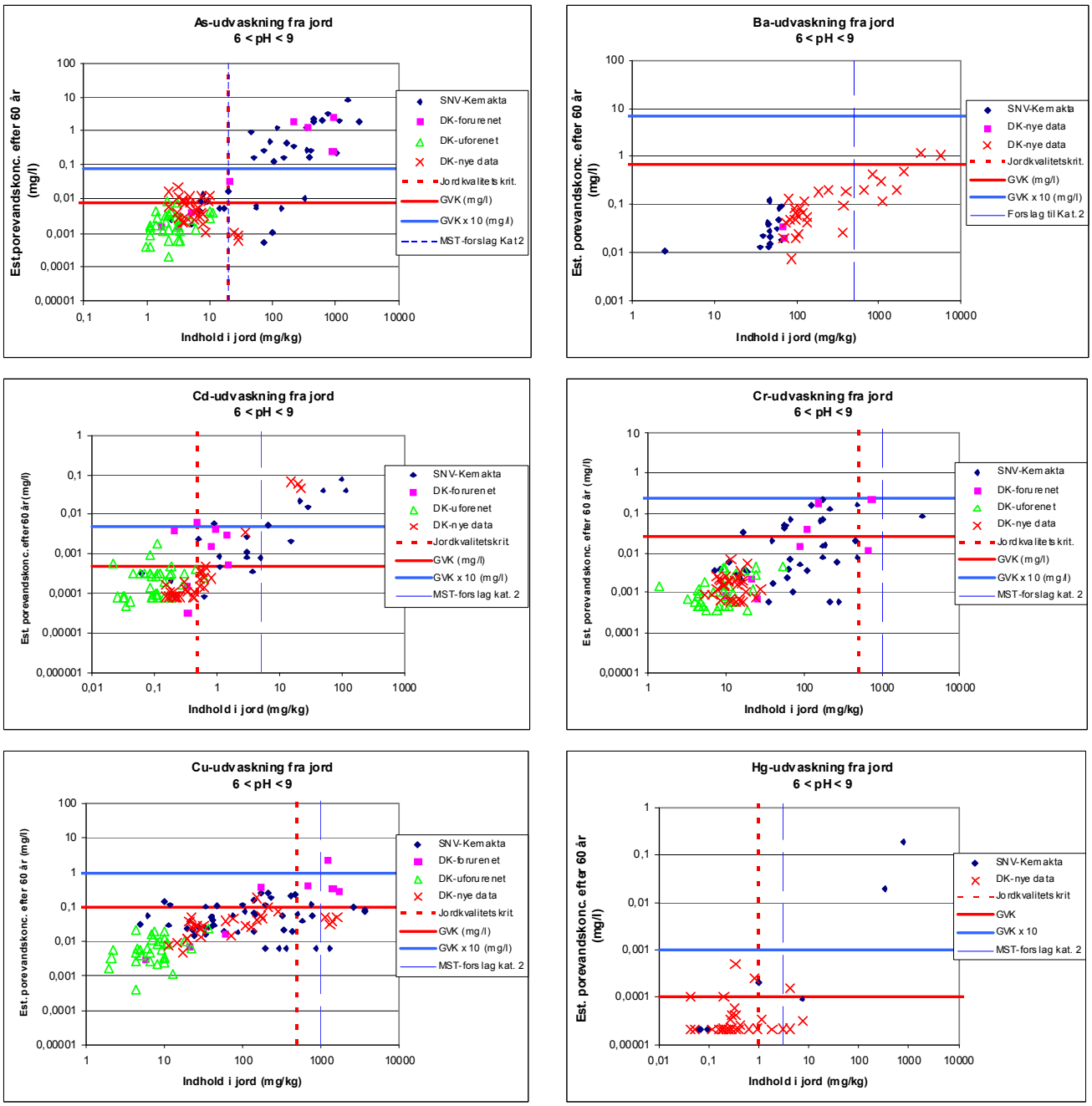
For As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Se, Zn samt sum af PAH, benz(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen er kravene i model 2 opfyldt. Det vil sige, at for disse parametre opfylder Miljøstyrelsens forslag til grænseværdier for kategori 2-jord kravene til, at porevandskoncentrationen skal overholde grundvandskvalitetskritererne, når membranen ophører med at fungere (jf. model 2). For de øvrige stoffer er det nødvendigt at foreslå en grænseværdi, som er lavere end den, Miljøstyrelsen har foreslået.

Tabel 6.2
Scenarie 6: Stofbelastning efter 100 år (5 m højde, 350 mm/år nedbør). Vurdering af porevandskoncentrationens overholdelse af GVK og 10 gange GVK (det skal bemærkes, at der til fastsættelse af grænseværdi for uorganiske parametre kun anvendes datasæt, hvor pH i eluat ligger på 6<pH<9).

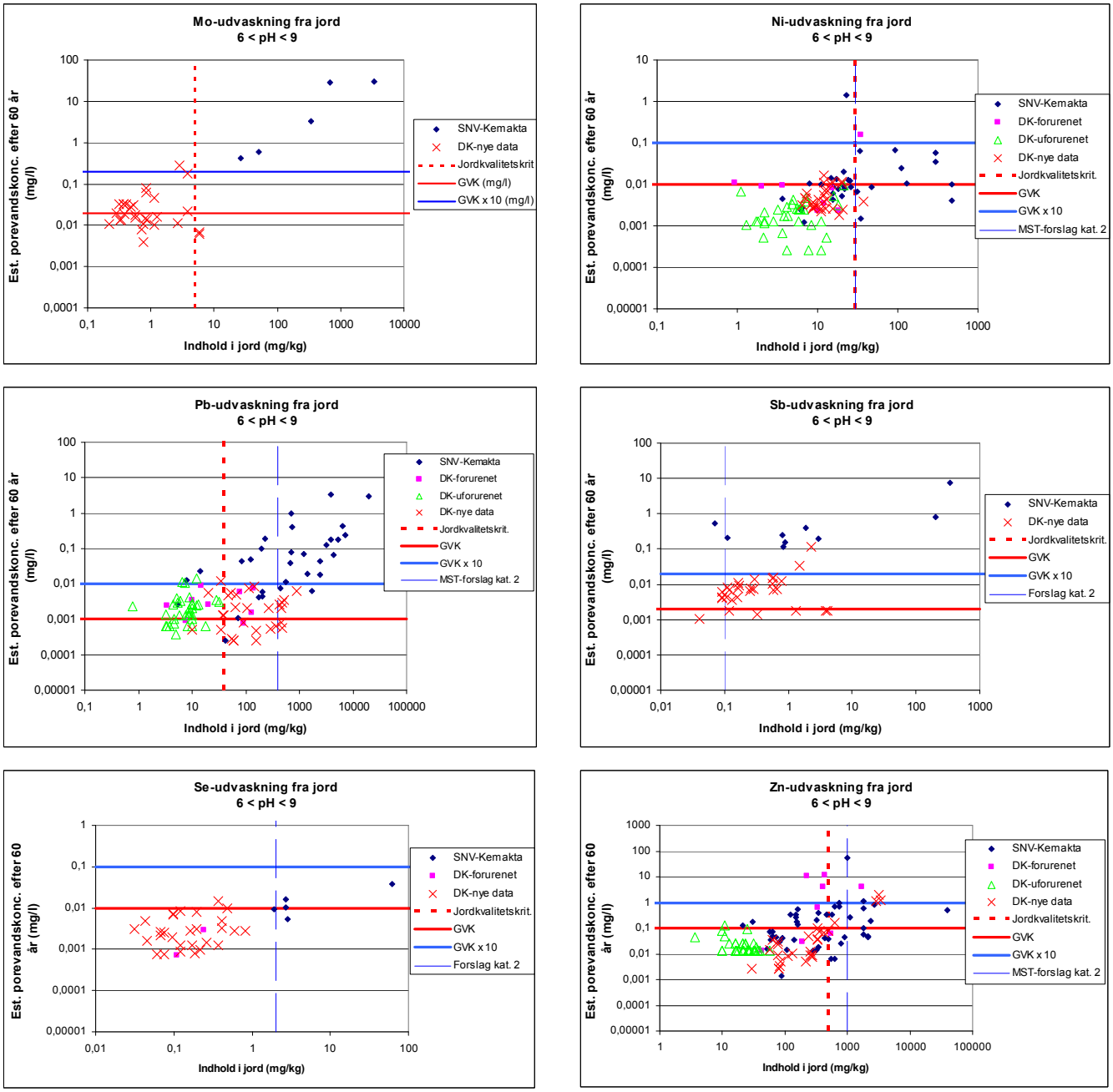
Parameter	GVK	JKK	Forslag til kategori 2	Antal prøver Mindre end forslag kategori 2/antal prøver i alt	Andel prøver Mindre end GVK	Andel prøver Mindre end 10 gange GVK	Model 2: mere end 75% af prøverne skal overholde GVK, og 95% af prøverne skal overholde 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg TS	mg/kg TS		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	86	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	94	100	Opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	91	100	Opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	98	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	90	100	Opfyldt
Mo	0,02	5	5	27 / 34	89	100	Opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	99	99	Opfyldt
Pb	0,001	40	400	77 / 103	62	95	Ikke opfyldt
Sb	0,002	-	0,1	5 / 38	20	80	Udgår fra vurderingen, da datagrundlaget er for spinkelt. Ud af de 38 datasæt for Sb er der kun seks prøver, hvor porevandskoncentrationen er mindre end GVK
Se	0,01	-	2	31 / 35	100	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	102 / 116	86	96	Opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	76	98	Opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	5	56 / 57	79	93	Ikke opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	83	98	Opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	93	98	Opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	40	24 / 27	71	100	Ikke opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	55	23 / 27	52	100	Ikke opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	450	11 / 27	46	83	Ikke opfyldt

Tabel 6.3
Scenarie 3: Stofbelastning efter 60 år (10 m højde, 200 mm/år nedbør). Vurdering af porevandskoncentrationens overholdelse af GVK og 10*GVK (det skal bemærkes, at der til fastsættelse af grænseværdi for uorganiske parametre kun anvendes datasæt, hvor pH i eluat ligger på 6<pH<9).

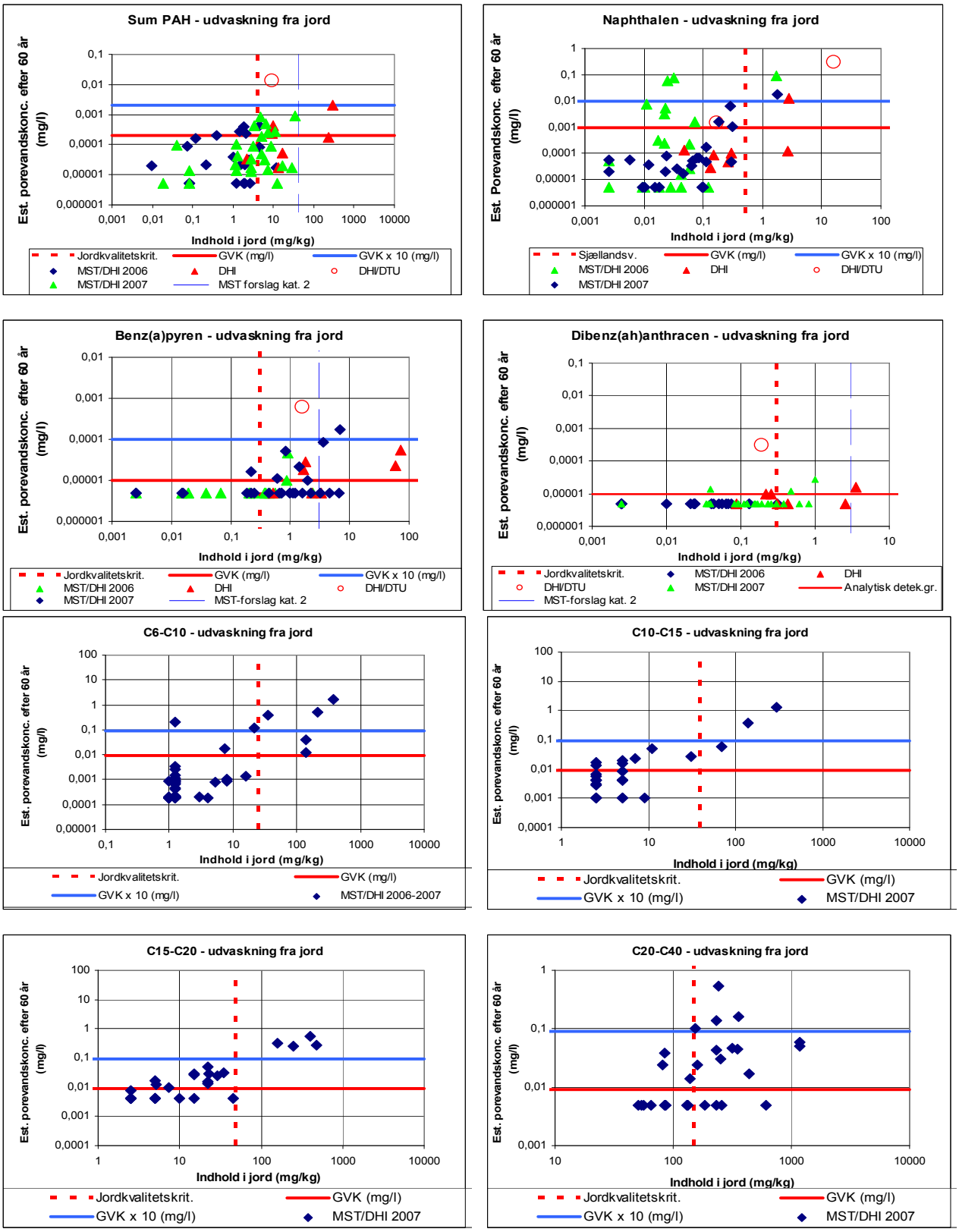
Parameter	GVK	JKK	Forslag til kategori 2	Antal prøver Mindre end forslag kategori 2/antal prøver i alt	Andel prøver Mindre end GVK	Andel prøver Mindre end 10 gange GVK	Model 2: mere end 75% af prøverne skal overholde GVK, og 95% af prøverne skal overholde 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg	mg/kg		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	80	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	79	98	Opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	87	100	Opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	85	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	83	100	opfyldt
Mo	0,02	5	5	27 / 34	56	96	Ikke opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	84	99	Opfyldt
Pb	0,001	40	400	77 / 103	27	87	Ikke opfyldt
Sb	0,002	-	0,1	5 / 38	20	80	Udgår fra vurderingen, da datagrundlaget er for spinkelt. Ud af de 38 datasæt for Sb er der kun seks prøver, hvor porevandskoncentrationen er mindre end GVK
Se	0,01	-	2	31 / 35	97	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	102 / 116	78	96	Opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	76	98	Opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	5	56 / 57	79	93	Ikke opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	83	98	Opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	91	98	Opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	40	24 / 27	71	100	Ikke opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	55	23 / 27	52	100	Ikke opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	450	11 / 27	46	83	Ikke opfyldt



Figur 6.1
Faststofindhold vs. estimeret porevandskoncentration efter 60 år, 10 m anlægshøjde og 200 mm/år nettonedbør. De vandrette linjer svarer til hhv. GVK og 10 x GVK. De lodrette linjer angiver hhv. jordkvalitetskriteriet og forslag til faststofgrænseværdi for kategori 2-jord.



Figur 6.2
Estimeret porevandskoncentration vs. faststofindhold efter 60 år, 10 m anlægshøjde og 200 mm/år nettonedbør. Faststofindhold De vandrette linjer svarer til hhv. GVK og 10 gange GVK. De lodrette linjer angiver hhv. jordkvalitetskriteriet og forslag til faststofgrænseværdi for kategori 2-jord.



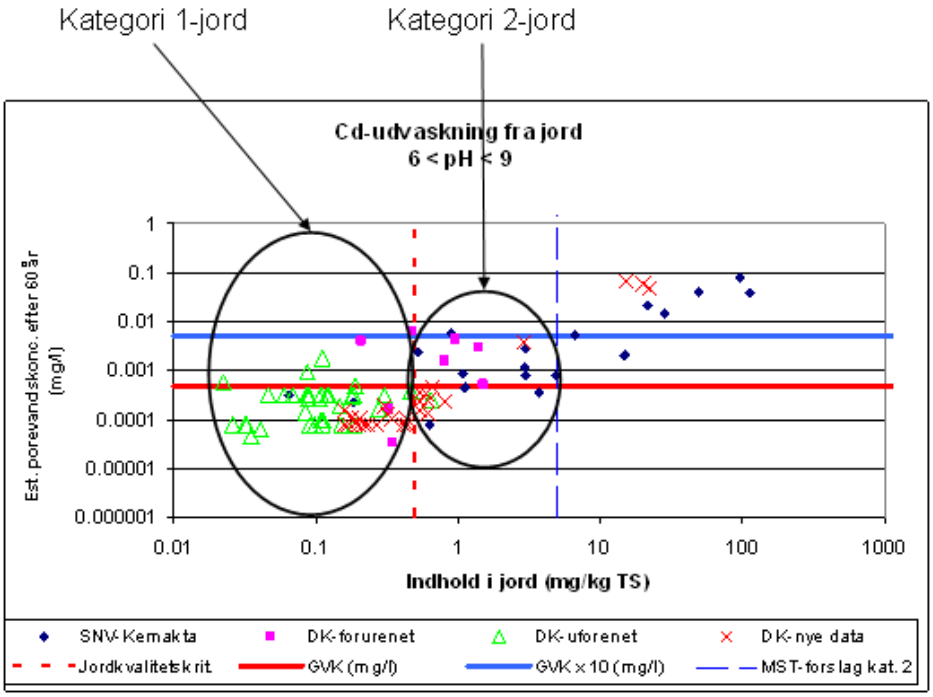
Figur 6.3
Estimeret porevandskoncentration vs. faststofindhold efter 60 år, 10 m anlægshøjde og 200 mm/år nettonedbør. De vandrette linjer svarer til hhv. GVK og 10 gange GVK (med undtagelse af dibenz(a,h)anthracen, hvor den analytiske detektionsgrænse er anvendt). De lodrette linjer angiver hhv. jordkvalitetskriteriet og forslag til faststofgrænseværdi for kategori 2-jord.

6.4 Faststofgrænseværdier for kategori 2-jord udlagt på membran

For at følge forsigtighedsprincippet opstilles forslaget til grænseværdier for kategori 2-jord (anbragt på membran) på baggrund af de resultater, som er opnået under de betingelser, der gav den mindste reduktion i kildestyrken (dvs. scenarium 3). Dette vil svare til den situation, hvor udvaskningen er mindst fremskredet i løbet af membranens levetid.

Figurerne 6.1 til 6.3 viser for scenarie 3 efter 60 år de estimerede porevandskoncentrationer som funktion af faststofindholdet for en række uorganiske og organiske (PAH og kulbrinter) stoffer for det til rådighed værende datamateriale. De vandrette linjer i figurerne angiver henholdsvis grundvandskvalitetskriterierne og 10 gange grundvandskvalitetskriterierne. De lodrette linjer angiver henholdsvis jordkvalitetskriterierne og de i dette afsnit fremsatte forslag til kriterier for faststofindhold i jord til anvendelse med underliggende membran.

Forslag til grænseværdier for faststofindhold af kategori 2-jord med membran fremgår af tabel 6.4. Som det ses, er det for de fleste parametre muligt at fastsætte en grænseværdi, som opfylder kravene om, at mere end 75% af prøverne overholder grundvandskvalitetskriteriet, og 95% overholder 10 gange grundvandskvalitetskriteriet. Dog skal det bemærkes, at det er valgt at basere vurderingen på alle jordprøver med et faststofindhold mindre end den foreslåede grænseværdi for kategori 2-jord. Det betyder, at jord, der i princippet skulle klassificeres som kategori 1-jord, også indgår i vurderingen af fastsættelsen af kategori 2-grænseværdier (se figur 6.4).



Figur 6.4.
Datagrundlag for at fastsætte grænseværdi for kategori 2-jord for cadmium (Cd). I vurderingen indgår både jordprøver indeholdt i kategori 1 og kategori 2.

Det kan diskuteres, hvorvidt dette er den korrekte måde at fastsætte grænseværdier for kategori 2-jord. Betragtes udelukkende de jordprøver, der

falder i cirklen med kategori 2-jord, fremgår det, at den forventede cadmiumkoncentration i porevandet for disse prøver i de fleste tilfælde faktisk overskrider grundvandskvalitetskriteriet for cadmium, og dermed kan kravene i model 2 ikke siges at være opfyldt.

Når jord klassificeres, sker det ud fra en samlet vurdering af alle parametre, og hvis en parameter overskrider kategori 1-grænseværdien (f.eks. benz(a)pyren), men alle parametre overholder kategori 2-grænseværdierne, vil jorden blive klassificeret som kategori 2-jord. Fordi karakteriseringen ikke sker på baggrund af enkelte parametre, vil der forekomme kategori 2-jord, som har et Cd-indhold svarende til kategori 1-jord. Det er derfor valgt at basere fastsættelsen af kategori 2-grænseværdier på alle jordprøver med et indhold mindre end grænseværdien.

For naphthalen vil det være nødvendigt at sætte grænseværdien for kategori 2-jord til 1,5 mg/kg TS for at kunne opfylde kravene.

For kulbrinte-fraktionerne C_{10}-$C_{15,}$ C_{15}-C_{20} og C_{20}-C_{40} er gevinsten ved at udlægge jorden på membran lig nul, idet koncentrationen af kulbrinter i de nævnte fraktioner ikke reduceres i den periode, hvor membranen er funktionel. Princippet for at fastsætte grænseværdier vil i dette tilfælde være nøjagtig det samme som for kategori 1-jord, og derfor bliver grænseværdierne for de nævnte kulbrintefraktioner lig de grænseværdier, der er opstillet for kategori 1-jord.

For den letteste kulbrintefraktion C_6– C_{10} vil porevandskoncentrationen reduceres med mellem 24 og 80% afhængig af, hvilket scenarium der betragtes. Det kan derfor retfærdiggøres, at der for denne fraktion opstilles en grænseværdi, som er højere end grænseværdien for de øvrige kulbrintefraktioner. Der kan på baggrund af scenarium 3 foreslås en grænseværdi på 25 mg/kg TS.

For stofferne Mo, Pb og Sb er det ikke muligt at fastsætte en grænseværdi for faststofindholdet, hvor det kan sandsynliggøres, at porevandskoncentrationen vil opfylde kravene til overholdelse af grundvandskvalitetskriterierne. Membranens effekt på reduktion i stofkoncentration er ikke tilstrækkelig høj til, at grundvandskvalitetskriterierne kan overholdes, hvilket fremgår af figur 6.2 for Mo, Pb og Sb.

Tabel 6.4
Forslag til grænseværdi for kategori 2- jord på membran (scenarie 3: miljøbelastning efter 60 år, 10 m anlægshøjde, 200 mm/år nedbør) jf. kravene i model 2.

Parameter	GVK	Forslag kategori 2	Andel prøver mindre end GVK	Andel prøver mindre end 10 gange GVK
	mg/l	mg/kg	%	%
As	0,008	20	80	100
Ba	0,7	500	100	100
Cd	0,0005	5	79	98
Cr	0,025	1.000	87	100
Cu	0,1	1.000	85	100
Hg	0,0001	3	83	100
Mo	0,02	Ikke muligt at opfylde kravene i model 2		
Ni	0,01	30	84	99
Pb	0,001	Ikke muligt at opfylde kravene i model 2		
Sb	0,002	Ikke muligt at opfylde kravene i model 2		
Se	0,01	2	97	100
Zn	0,1	1.000	78	96
Sum PAH	0,0002	40	76	98
Naphthalen	0,001	1,5	83	96
Benz(a)pyren	0,00001	3	83	98
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	3	91	98
Kulbrinter				
C_6-C_{10}	0,009	25	93	95
C_{10}-C_{15}	0,009	<10	77	100
C_{15}-C_{20}	0,009	<10	77	100
C_{20}-C_{40}	0,009	130	75	100

6.5 Overvejelse og vurdering vedrørende infiltration

For at sikre, at der opnås den infiltration og gennemstrømning, som er forudsat i beregningerne, kan følgende forhold fremhæves for genanvendelsesprojekterne:

- Der må ikke etableres fast/tæt belægning på overfladen
- For støjvolde, hvor en stor del af arealet har stor hældning, bør der sikres en særlig stor infiltration på toppen. Dette kan f.eks. gøres ved at mindske fordampningen ved at etablere et lag sten på toppen, således at nedbør straks infiltreres

7 Genanvendelse af kategori 2-jord uden membran

7.1 Grundlag for at fastsætte volumen af kategori 2-jord til genanvendelse uden membran

Med de grænseværdier, der er fastsat i det foregående kapitel, kunne det overvejes, at etablere genanvendelsesprojekter af en mindre udstrækning uden membran. Til vurdering af konsekvenserne for grundvandet, er der gennemført modelberegninger for en række scenarier med genanvendelsesprojekter af varierende størrelse. Jf. opgavebeskrivelsen er der for størrelser mindre end 10 m udstrækning anvendt en kubisk form af scenariet, mens der for større scenarier er anvendt en højde på 10 m og en kvadratisk udbredelse, med undtagelse af model G, hvor der er anvendt en højde på 5 m. De anvendte størrelser af genanvendelsesprojektet er vist i tabel 7.1.

Tabel 7.1
Dimensioner af scenarier for genanvendelsesprojekter.

Model nr.	Højde (m)	Bredde (m)	Længde* (m)
A	10	140	140
B	10	100	100
C	10	60	60
D	10	32	32
E	10	12	12
F	8	8	8
G	5	100	100
H	4	4	4

*: Længden i grundvandets strømningsretning.

Beregningerne er gennemført på samme måde som de modelberegningerne, der er foretaget i forbindelse med implementeringen af Rådsbeslutningen 2003/33/EF og som også er anvendt i DHI (2007). Ved beregningerne er anvendt samme metoder og forudsætninger som anført i Bilag 1 til DHI (2007), dog med følgende modifikationer:

- Infiltration igennem kilden og ned i umættet zone er sat til 350 mm/år
- POC er sat til 30 m nedstrøms genanvendelsesprojektet
- Umættet zone er ca. 2 m tyk, og der er anvendt modellagtykkelser på 15-25 cm
- Ved beregningen af den maksimale udvaskning ved L/S = 2 l/kg er der for Hg og Pb anvendt grundvandskvalitetskriterier på henholdsvis 0,1 µg/l og 1 µg/l, hvor der ved fastsættelsen af kriterierne for deponering er anvendt henholdsvis 1 µg/l og 5 µg/l (Bilag 1 i DHI (2007)).

Resultaterne af beregningerne i form af den forventede fortynding (1/fa) er anført i tabel 7.2, mens tabel 7.3 viser koncentrationsniveauet af

forureningsstoffer for POC=30 m opgivet i procent af startkoncentrationen C_0 i kilden.

Som det fremgår af tabel 7.2, er beregningerne for de organiske samleparametre (sum af PAH og kulbrinterne) baseret på et modelstof. Valget af modelstoffet er gjort ud fra forsigtighedsprincippet, og beregningerne er derfor en konservativ betragtning (se endvidere DHI 2007).

Ved vurderingen af, hvilket volumen af kategori 2-jord, der må anbringes i et afgrænset projekt, vurderes stofkoncentrationen i POC=30 m i forhold til grundvandskvalitetskriteriet. Den estimerede porevandskoncentration ved starttidspunktet i kilden (C_0) multipliceres med stofbelastningen for POC=30 m (se tabel 7.3), og det vurderes, om grundvandskvalitetskriteriet kan overholdes.

Vurderingen foretages på baggrund af det indsamlede datamateriale, som vist i kapitel 4. For uorganiske parametre anvendes kun datasæt, hvor pH i eluat ligger på 6<pH<9.

I dette tilfælde, hvor belastningen er beregnet ved POC, og hvor reduktionen som følge af stoftilbageholdelse i jord/grundvand er indregnet, er der anvendt et krav om, at grundvandskvalitetskriteriet skal være overholdt i POC=30 meter for 100% af jordprøverne.

Tabel 7.2
Fortyndingsfaktorer, 1/fa, for POC=30 m.

Parameter	Modelparameter	MODEL A	MODEL B	MODEL C	MODEL D	MODEL E	MODEL F	MODEL G	MODEL H
		10x140x140	10x100x100	10x60x60	10x32x32	10x12x12	8x8x8	5x100x100	4x4x4
As	As	3,3	4,2	6,0	10	25	37	4,4	87
Ba	Ba	4,1	4,9	6,7	11	27	40	5,8	100
Cd	Cd	8,0	8,5	10	15	35	54	13	156
Cr tot	Cr tot	5,0	5,8	7,6	12	29	44	7,7	115
Cu	Cu	17	17	18	24	50	82	31	275
Hg	Hg	3,5	4,3	6,2	10	25	38	4,8	91
Mo	Mo	5,6	6,3	8,1	13	30	46	8,8	123
Ni	Ni	5,8	6,5	8,4	13	30	47	9,3	90
Pb	Pb	16	17	18	24	50	81	30	269
Sb	Sb	3,4	4,2	6,0	10	25	38	4,6	89
Se	Se	4,0	4,8	6,6	11	26	40	5,7	98
Zn	Zn	5,7	6,4	8,3	13	30	47	9,1	125
sum PAH'er	Fluroranthen	3,0	3,9	5,6	9,6	24	36	3,9	81
Naphthalen	Naphthalen	3,1	3,9	5,6	9,6	24	36	3,9	81
Benz(a)pyren	Fluroranthen	3,0	3,9	5,6	9,6	24	36	3,9	81
Dibenz(a,h) anthracen	Fluroranthen	3,0	3,9	5,6	9,6	24	36	3,9	81
Kulbrinter									
C_6-C_{10}	Toluen	3,1	3,9	5,7	9,7	24	36	4,0	83
C_{10}-C_{15}	Dekan	3,0	3,8	5,6	9,6	24	36	3,8	80
C_{15}-C_{20}	Pentadekan	3,0	3,8	5,6	9,6	24	36	3,8	80
C_{20}-C_{40}	Pentadekan	3,0	3,8	5,6	9,6	24	36	3,8	80

Tabel 7.3
Stofbelastning for POC=30 m i procent af startkoncentrationen ved kilden (=attenueringsfaktor fa).

Parameter	Modelparameter	MODEL A	MODEL B	MODEL C	MODEL D	MODEL E	MODEL F	MODEL G	MODEL H
		10x140x140	10x100x100	10x60x60	10x32x32	10x12x12	8x8x8	5x100x100	4x4x4
As	As	30%	24%	17%	10%	4,0%	2,7%	23%	1,2%
Ba	Ba	25%	21%	15%	9,1%	3,8%	2,5%	17%	1,0
Cd	Cd	13%	12%	9,8%	6,6	2,9%	1,8%	7,4%	0,64%
Cr tot	Cr tot	20%	17%	13%	8,3%	3,5%	2,3%	13%	0,87%
Cu	Cu	6,0%	5,8%	5,4%	4,2%	2,0%	1,2%	3,2%	0,36%
Hg	Hg	28%	23%	16%	9,7%	4,0%	2,6%	21%	1,1%
Mo	Mo	18%	16%	12%	7,9%	3,3%	2,2%	11%	0,81%
Ni	Ni	17%	15%	12%	7,7%	3,3%	2,1%	11%	1,1%
Pb	Pb	6,2%	5,9%	5,6%	4,2%	2,0%	1,2%	3,3%	0,37%
Sb	Sb	29%	24%	17%	9,9%	4,0%	2,7%	22%	1,1%
Se	Se	25%	21%	15%	9,2%	3,8%	2,5%	18%	1,0%
Zn	Zn	17%	16%	12%	7,8%	3,3%	2,1%	11%	0,80%
sum PAH'er	Fluroranthen	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%
Naphthalen	Naphthalen	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	
Benz(a)pyren	Fluroranthen	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%
Dibenz(a,h) anthracen	Fluroranthen	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%
Kulbrinter									
C_6-C_{10}	Toluen	32%	26%	18%	10%	4,1%	2,8%	25%	1,2%
C_{10}-C_{15}	Dekan	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%
C_{15}-C_{20}	Pentadekan	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%
C_{20}-C_{40}	Pentadekan	33%	26%	18%	10%	4,2%	2,8%	26%	1,2%

7.2 Vurdering af anlægsstørrelser

Vurderingen indledes med ***model A:*** 10 m x 140 m x140 m, som beskriver det største afgrænsede projekt, der er beregnet med modellen. Sammenlignet med de resterende syv modeller kan der for model A forventes den største stofbelastning ved POC=30 m, dvs. at model A fra et miljøbeskyttelsessynspunkt repræsenterer det værst tænkelige tilfælde af de otte beregnede modeller.

Som det ses af resultaterne i tabel 7.4, er det for størstedelen af parametrene ved en anlægsstørrelse på 10 m x 140 m x 140 m ikke muligt at overholde grundvandskvalitetskriteriet 30 m nedstrøms lokaliteten, når der anvendes et krav om, at 100% af prøverne skal kunne overholde grundvandskvalitetskriterierne.

Dernæst er det undersøgt, om grundvandskvalitetskriteriet kan overholdes 30 m nedstrøms lokaliteten, hvis anlægsstørrelsen begrænses til 4 m x 4 m x 4 m (***model H***). Resultaterne fremgår af tabel 7.5, og som det ses, kan grundvandskvalitetskriteriet ikke overholdes for Ni, Zn, Sb og kulbrintefraktionen C_6-C_{10}.

Øges anlægsstørrelsen til 8 m x 8 m x 8m (***model F***), er det tillige grundvandskvalitetskriteriet for sum af PAH, naphthalen og benz(a)pyren, der ikke overholdes 30 m nedstrøms lokaliteten (se tabel 7.6). Øges volumenet yderligere til 10 m x 12 m x 12 m (***model E***), er det desuden kriteriet for dibenz(a,h)anthracen, der overskrides (se tabel 7.7), mens det ingen betydning har for kulbrinterne og de uorganiske komponenter.

Ud fra de gennemførte modelberegninger og vurderinger ses det, at selv med den mindste af de gennemregnede anlægsstørrelser på 4 x 4 x 4 meter, dvs. 64 m^3 eller ca. 100 tons jord, kan grundvandskvalitetskriterierne ikke overholdes med de grænseværdier for kategori 2-jord, som er foreslået for jord udlagt på membran. Det vurderes ud fra beregningerne, at en anlægsstørrelse på 3 m x 3 m x 3 m ville kunne overholde kravene.

Kravet om at alle jordprøver overholder grundvandskvalitetskriteriet i POC 30 m kan i visse tilfælde synes at være et restriktivt krav, men for områder med drikkevandsinteresser vurderes det, at det er rimeligt med krav til en høj sandsynlighed for at beskyttelsesniveauet er tilstrækkeligt til at beskytte grundvandet mod uacceptabel påvirkning. For områder uden drikkevandsinteresser kunne det overvejes at acceptere et en lavere sandsynlighed for at beskyttelsesniveauet overholdt i POC 30. Sagt med andre ord, kunne det overvejes at acceptere lidt større genanvendelsesprojekter i områder uden særlig drikkevandsinteresser, vel vidende at dette datamateriale viser at enkelte jordprøver vil overskride grundvandskvalitetskriteriet i POC 30 m.

Tabel 7.4
Vurderingen af overholdelse af grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m for en anlægsstørrelse på 10 m x 140 m x 140 m (Model A) for kategori 2-jord uden membran, baseret på forslag til grænseværdier for faststofindhold for kategori 2-jord på membran. For Pb vurderes en grænseværdi på 40 mg/kg TS, svarende til JKK.

Parameter	GVK	JKK	Forslag kategori 2 på membran	Antal prøver mindre end forslag til kategori. 2 på membran/antal prøver i alt	Andel prøver mindre end GVK	Andel prøver mindre end 10 gange GVK	100% af prøverne skal overholde grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m
	mg/l	mg/kg	mg/kg		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	100	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	91	100	Ikke opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	95	100	Ikke opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	100	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	97	100	Ikke opfyldt
Mo	0,02	5	5	27/34	93	100	Ikke opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	99	99	Ikke opfyldt
Pb*	0,001	40	400	77/103	92	99	Ikke opfyldt
Sb	0,002	-	0,8	26/38	35	92	Ikke opfyldt
Se	0,01	-	2	31 / 35	100	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	102 / 116	91	97	Ikke opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	94	98	Ikke opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	1,5	56 / 57	88	96	Ikke opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	94	98	Ikke opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	98	98	Ikke opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Ikke opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	10	24 / 27	100	100	Opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	15	23 / 27	100	100	Opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	130	11 / 27	88	100	Ikke opfyldt

* for Pb er MST-forslag til grænseværdi for kategori 2-jord vurderet efter ønske fra MST.

Tabel 7.5
Vurderingen af overholdelse af grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m for en anlægsstørrelse på 4 m x 4 m x 4 m (Model H) for kategori 2-jord uden membran, baseret på forslag til grænseværdier for faststofindhold for kategori 2-jord på membran. For Pb vurderes en grænseværdi på 40 mg/kg TS, svarende til JKK.

Parameter	GVK	JKK	Forslag kategori 2 på membran	Antal prøver mindre end forslag til kategori. 2 på membran/antal prøver i alt	Andel prøver mindre end GVK	Andel prøver mindre end 10 gange GVK	100% af prøverne skal overholde grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m
	mg/l	mg/kg	mg/kg		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	100	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	100	100	Opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	100	100	Opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	100	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	100	100	Opfyldt
Mo	0,02	5	5	27/34	100	100	Opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	99	100	Ikke opfyldt
Pb*	0,001	40	400	77/103	100	100	Opfyldt
Sb	0,002	-	0,8	26/38	92	100	Ikke opfyldt
Se	0,01	-	2	31 / 35	100	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	102 / 116	97	100	Ikke opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	100	100	Opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	1,5	56 / 57	100	100	Opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	100	100	Opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	100	100	Opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Ikke opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	10	24 / 27	100	100	Opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	15	23 / 27	100	100	Opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	130	11 / 27	100	100	Opfyldt

* for Pb er MST-forslag til grænseværdi for kategori 2-jord vurderet efter ønske fra MST.

Tabel 7.6
Vurderingen af overholdelse af grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m for en anlægsstørrelse på 8 m x 8 m x 8 m (Model F) for kategori 2-jord uden membran, baseret på forslag til grænseværdier for faststofindhold for kategori 2-jord på membran. For Pb vurderes en grænseværdi på 40 mg/kg TS, svarende til JKK.

Parameter	GVK	JKK	Forslag kategori 2 på membran	Antal prøver mindre end forslag til kategori. 2 på membran/antal prøver i alt	Andel prøver mindre end GVK	Andel prøver mindre end 10 gange GVK	100% af prøverne skal overholde grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m
	mg/l	mg/kg	mg/kg		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	100	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	100	100	Opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	100	100	Opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	100	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	100	100	Opfyldt
Mo	0,02	5	5	27/34	100	100	Opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	99	100	Ikke opfyldt
Pb*	0,001	40	400	77/103	97	100	Opfyldt
Sb	0,002	-	0,8	26/38	92	100	Ikke opfyldt
Se	0,01	-	2	31 / 35	100	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	101 / 116	96	99	Ikke opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	98	100	Ikke opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	1,5	56 / 57	96	100	Ikke opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	98	100	Ikke opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	100	100	Opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Ikke opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	10	24 / 27	100	100	Opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	15	23 / 27	100	100	Opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	130	11 / 27	100	100	Opfyldt

* for Pb er MST-forslag til grænseværdi for kategori 2-jord vurderet efter ønske fra MST.

Tabel 7.7
Vurderingen af overholdelse af grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m for en anlægsstørrelse på 10 m x 12 m x 12 m (Model E) for kategori 2- jord uden membran, baseret på forslag til grænseværdier for faststofindhold for kategori 2- jord på membran. For Pb vurderes en grænseværdi på 40 mg/kg TS, svarende til JKK.

Parameter	GVK	JKK	Forslag kategori 2 på membran	Antal prøver mindre end forslag til kategori. 2 på membran/antal prøver i alt	Andel prøver mindre end GVK	Andel prøver mindre end 10 gange GVK	100% af prøverne skal overholde grundvandskvalitetskriteriet ved POC=30 m
	mg/l	mg/kg	mg/kg		%	%	
As	0,008	20	20	70 / 105	100	100	Opfyldt
Ba	0,7	-	500	41/ 49	100	100	Opfyldt
Cd	0,0005	0,5	5	80 / 90	100	100	Opfyldt
Cr	0,025	500	1.000	110 / 111	100	100	Opfyldt
Cu	0,1	500	1.000	110 / 122	100	100	Opfyldt
Hg	0,0001	1	3	29 / 36	100	100	Opfyldt
Mo	0,02	5	5	27 / 34	100	100	Opfyldt
Ni	0,01	30	30	88 / 101	99	100	Ikke opfyldt
Pb*	0,001	40	400	77 / 103	95	100	Ikke opfyldt
Sb	0,002	-	0,8	26 / 38	92	96	Ikke opfyldt
Se	0,01	-	2	31 / 35	100	100	Opfyldt
Zn	0,1	500	1.000	102 / 116	96	99	Ikke opfyldt
Sum PAH	0,0002	4	40	54 / 56	98	100	Ikke opfyldt
Naphthalen	0,001	0,5	1,5	56 / 57	96	100	Ikke opfyldt
Benz(a)pyren	0,00001	0,3	3	48 / 56	98	100	Ikke opfyldt
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,3	3	55 / 56	98	100	Ikke opfyldt
Kulbrinter							
C_6-C_{10}	0,009	25	25	42 / 47	93	95	Ikke opfyldt
C_{10}-C_{15}	0,009	40	10	24 / 27	100	100	Opfyldt
C_{15}-C_{20}	0,009	55	15	23 / 27	100	100	Opfyldt
C_{20}-C_{40}	0,009	150	130	11 / 27	100	100	Opfyldt

* for Pb er MST-forslag til grænseværdi for kategori 2-jord vurderet efter ønske fra MST.

8 Grænseværdier baseret på stofudvaskning

Det bedste grundlag for en vurdering af, om en jord er egnet til genanvendelse i forhold til risiko for grundvandsforurening er, at der for den jord, som ønskes genanvendt, gennemføres udvaskningstest. Resultatet fra udvaskningstests er et konkret udtryk for, hvilke stoffer der frigives fra jorden til gennemsivende vand, og i hvilket omfang frigivelsen finder sted.

Resultatet af en udvaskningstest kan enten indgå i en risikovurdering, der tager udgangspunkt i en specifik genanvendelsessituation, eller det kan holdes op mod en grænseværdi, som på forhånd er fastsat på baggrund af et ønsket beskyttelsesniveau i forhold til grundvand.

I det følgende gives forslag til grænseværdier baseret på udvaskningstests. Grænseværdierne er fastsat således, at der så vidt muligt er anvendt samme beskyttelsesniveau i forhold til grundvand, som der er anvendt til at fastsætte grænseværdier baseret på faststofindholdet. Forudsætningerne, der ligger til grund for fastsættelsen af grænseværdier baseret på udvaskningstest, vil være forskellige for hhv. kategori 1- og kategori 2-jord.

8.1 Forslag til grænseværdier for kategori 1-jord

Som udgangspunkt skal grundvandskvalitetskriterierne være overholdt i porevandet fra den jord, som ønskes genanvendt.

Grundvandskvalitetskriterierne for de enkelte parametre omregnes derfor til grænseværdier, der kan sammenlignes med resultater af udvaskningstest. Dette er gjort vha. formel 3.1 (fra afsnit 3.3).

$$C_p = \left(\frac{M_X}{(L/S)_X}\right)\left(\frac{\exp(L/S)_{PV} \cdot \kappa}{\exp(-(L/S)_X \cdot \kappa)}\right)$$

hvor

$M_X = (L/S)_x\ C_x$ er den udvaskede stofmængde i testen udført ved $(L/S)_x$ l/kg.

Grænseværdierne for kategori 1-jord er udtrykt som udvasket mængde i mg/kg TS og vist i tabel 8.1. Kravet til kategori 1-jord skal samtidig for de uorganiske stoffer suppleres med et krav om, at pH-værdien i eluatet fra udvaskningstesten skal være mellem 6 og 9.

Tabel 8.1
Grænseværdier for kategori 1-jord baseret på udvaskningstest. Grænseværdierne suppleres af et krav om at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	Grundvands-kvalitetskriterium mg/l	Grænseværdi for kategori 1-jord Udvasket mængde mg/kg TS
Testmetode: EN 12457-1 (L/S= 2l/kg)		
As	0,008	0,015
Ba	0,7	1,1
Cd	0,0005	0,00042
Cr, total	0,025	0,037
Cu	0,1	0,12
Hg	0,0001	0,00018
Mo	0,02	0,022
Ni	0,01	0,012
Pb	0,001	0,0013
Sb	0,002	0,0033
Se	0,01	0,010
Zn	0,1	0,12
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI) L/S = ca. 1 l/kg		
Sum af PAH	0,0002	0,0002
Naphthalen	0,001	0,001
Benz(a)pyren	0,00001	0,00001
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	0,00001
Sum af kulbrinter	0,009	0,009
C_6-C_{10}	0,009	0,007
C_{10}-C_{15}	0,009	0,009
C_{15}-C_{20}	0,009	0,009
C_{20}-C_{40}	0,009	0,009

I praksis vil disse grænseværdier for kategori 1-jord betyde, at der ikke må påvises kulbrinter samt benz(a)pyren og dibenz(a,h)anthracen i eluatet fra udvaskningstest. Det skal påpeges, at der for kulbrinter vil opstå et problem i forhold til den analytiske detektionsgrænse, der for de tungere fraktioner er højere end grænseværdien (oftest 0,01 mg/l svarende til 0,01 mg/kg TS).

Håndhæves det alene, at alle udvaskningstest, der gennemføres for et jordparti, som ønskes genanvendt i et givent genanvendelsesprojekt, skal overholde de i tabel 6.1 opgivne grænseværdier, vil disse grænseværdier repræsentere et skrappere krav til jorden end grænseværdierne baseret på faststofanalyser. Dette skyldes, at grænseværdierne baseret på faststofindholdet er fastsat således, at det tillades, at op til 25% af jordprøverne overskrider grundvandskvalitetskriteriet. For at opnå samme beskyttelsesniveau over for grundvandet med de to sæt af grænseværdier for kategori 1-jord, kan der for ***de enkelte genanvendelsesprojekter*** opstilles en regel om, at op til 25% af resultaterne fra udvaskningstest må vise op til 10 gange den grænseværdi, som er opgivet i tabel 6.1. Dette vil i princippet svare til det beskyttelsesniveau, der er anvendt i nærværende projekt til fastsættelse af grænseværdier for kategori 1-jord.

8.2 Forslag til grænseværdier for kategori 2-jord

For kategori 2-jord vil udvaskningskriterierne svare til dem, der ligger til grund for fastsættelse af grænseværdier for faststofindhold for anvendelse af kategori 2-jord uden membran. Det vil sige, at grundvandskvalitetskriteriet skal være overholdt 30 m nedstrøms anvendelsesprojektet. Grænseværdier for udvaskning kan derfor for et givet scenarie udledes af de beregninger, som er foretaget i kapitel 5; dvs. først omsættes grundvandskvalitetskriteriet 30 m nedstrøms anvendelsen til en porevandskoncentration (C_0) i anvendelsesprojektet ved hjælp af den tidligere fastlagte værdi af fortyndingsfaktoren, $1/f_a$ og dernæst anvendes ligningen:

$$E = (C_0/\kappa)(1-e^{-(L/S)\kappa}),$$

som er udledt af ligningen fra afsnit 6.1 (se DHI (2007)), til at omsætte C_0 til udvaskede mængder, E, ved værdierne L/S = 2 l/kg og L/S = 1 l/kg. Dette er gjort i tabel 8.2a for scenariemodellerne A, B, C og D og i tabel 8.2b for scenariemodellerne E, F, G og H. Grundvandskvalitetskriterierne er vist i tabel 8.1.

Tabel 8.2a
Grænseværdier for anvendelse af kategori 2-jord uden membran, baseret på udvaskningstests. Grænseværdierne suppleres af et krav om at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	Modelstof	Model A	Model B	Model C	Model D
		10x140x140	10x100x100	10x60x60	10x32x32
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Testmetode: EN 12457-1, L/S= 2l/kg					
As	As	0,048	0,060	0,085	0,14
Ba	Ba	4,6	5,5	7,5	12
Cd	Cd	0,0050	0,0053	0,0064	0,0094
Cr, total	Cr	0,21	0,24	0,32	0,51
Cu	Cu	2,6	2,6	2,8	3,7
Hg	Hg	0,00067	0,00082	0,0012	0,0019
Mo	Mo	0,16	0,18	0,23	0,350
Ni	Ni	0,085	0,095	0,12	0,19
Pb	Pb	0,024	0,025	0,026	0,035
Sb	Sb	0,012	0,015	0,021	0,035
Se	Se	0,056	0,066	0,092	0,15
Zn	Zn	0,86	0,96	1,2	1,9
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI), L/S = ca. 1 l/kg					
Sum af PAH	Fluoranthen	0,00061	0,00077	0,0011	0,0019
Naphthalen	Napthalen	0,0030	0,0037	0,0054	0,0093
Benz(a)pyren	Fluoranthen	0,000030	0,000039	0,000056	0,00010
Dibenz(a,h)anthracen	Fluoranthen	0,000030	0,000039	0,000056	0,00010
Sum af kulbrinter					
C_6-C_{10}	Toluen	0,024	0,030	0,043	0,074
C_{10}-C_{15}	Decan	0,027	0,035	0,050	0,086
C_{15}-C_{20}	Pentadecan	0,027	0,035	0,050	0,086
C_{20}-C_{40}	Pentadecan	0,027	0,035	0,050	0,086

Tabel 8.2b
Grænseværdier for anvendelse af kategori 2-jord uden membran, baseret på udvaskningstests. Grænseværdierne suppleres af et krav om at pH-værdien i eluatet for uorganiske stoffer skal være mellem 6 og 9.

Parameter	Modelstof	Model E	Model F	Model G	Model H
		10x12x12	8x8x8	5x100x100	4x4x4
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Testmetode: EN 12457-1, L/S= 2l/kg					
As	As	0,35	0,51	0,064	1,2
Ba	Ba	29	45	6,5	110
Cd	Cd	0,021	0,034	0,0084	0,097
Cr, total	Cr	1,2	1,9	0,32	4,8
Cu	Cu	7,7	13	4,8	42
Hg	Hg	0,0048	0,0072	0,00091	0,017
Mo	Mo	0,83	1,3	0,25	3,4
Ni	Ni	0,44	0,68	0,14	1,3
Pb	Pb	0,073	0,12	0,044	0,40
Sb	Sb	0,086	0,13	0,016	0,31
Se	Se	0,37	0,56	0,079	1,4
Zn	Zn	4,5	7,0	1,4	19
Testmetode: Ligevægtskolonnetest (M22-1 DHI), L/S = ca. 1 l/kg					
Sum af PAH	Fluoranthen	0,0048	0,0071	0,00077	0,016
Naphthalen	Napthalen	0,023	0,034	0,0038	0,078
Benz(a)pyren	Fluoranthen	0,00024	0,00036	0,000039	0,00081
Dibenz(a,h)anthracen	Fluoranthen	0,00024	0,00036	0,000039	0,00081
Sum af kulbrinter					
C_6-C_{10}	Toluen	0,18	0,28	0,030	0,63
C_{10}-C_{15}	Decan	0,21	0,32	0,035	0,72
C_{15}-C_{20}	Pentadecan	0,21	0,32	0,035	0,72
C_{20}-C_{40}	Pentadecan	0,21	0,32	0,035	0,72

Som det ses af tabellerne 8.2a og 8.2b, fås forskellige grænseværdier afhængigt af, hvilken af modellerne A–H, der vælges. Hvis der for alle stoffer vælges den mest restriktive grænseværdi (model A), vil det med de givne betingelser være muligt at anvende jorden efter alle de beskrevne modeller.

9 Supplerende undersøgelser

Det arbejde, der er beskrevet i denne rapport har været underkastet ekstern kvalitetskontrol. I den forbindelse er der efterfølgende gennemført flere supplerende undersøgelser. Resultaterne heraf er beskrevet i nogle af bilagene til rapporten.

Bilag B – Vurdering af kappa-værdier for jord
For at sikre konsistens med øvrige regelsæt, der omfatter jord, har udgangspunktet for arbejdet i projektet været at anvende samme metodik, som der er anvendt ved såvel udarbejdelsen af EU's Annex 2 om opstilling af acceptkriterier ved deponering af affald som ved den danske implementering af dette dokument. En væsentlig parameter, som indgår i den valgte metodik, er "kappa-værdien". De i ovennævnte arbejde anvendte kappa-værdier stammer primært fra udvaskningstests udført på bygningsaffald over et L/S-interval fra 0 til 10 l/kg. I denne rapport er disse kappa-værdier anvendt til beskrivelse af udvaskningsforholdene ved meget lave L/S-værdier – helt ned til L/S = 0,27 l/kg. Med henblik på at kunne vurdere, om de anvendte kappa-værdier rent faktisk kan siges at være repræsentative for de forhold, de skal beskrive, er der derfor på grundlag af eksisterende udvaskningsdata i DHI's database gennemført beregninger af kappa, som dels er baseret udelukkende på jord, dels er baseret på udvaskningsforløbet fra L/S = 0 til 2 l/kg.

Bilag E – Betydning af opløst organisk stof for udvaskning af Pb
Udvaskningen af Pb fra jord har på baggrund af de indsamlede data vist sig at være problematisk i forhold til at kunne fastsætte en grænseværdi baseret på faststofindholdet. Det er velkendt viden, at en af de parametre, der kan medvirke til at øge udvaskeligheden af Pb, er opløst organisk stof. Det blev derfor vurderet, om det var muligt at kombinere et forslag til grænseværdi for Pb med en grænseværdi til opløst organisk stof, således at de valgte kriterier for at fastsætte grænseværdier ville kunne opfyldes.

Bilag F –Vurdering af grænseværdier baseret på stofudvaskning
I kapitel 8 er der opstillet grænseværdier for genanvendelse af kategori 1- og 2-jord baseret på stofudvaskning. I bilag F er det på baggrund af det forhåndenværende datamateriale vurderet hvor stor en andel af jordprøverne, der ville kunne genanvendes under disse grænseværdier.

Bilag G – Undersøgelse af beregningernes følsomhed overfor kappa
Beregningen af kappa-værdier for jord på grundlag af eksisterende udvaskningsdata for jord (Bilag B) gav nogle værdier, som afviger noget fra de tidligere brugte værdier, der stammer fra arbejdet i EU- regi med udvaskningskriterier for affald, der skal deponeres. De tidligere kappa-værdier er beregnet ud fra udvaskningsdata i hele intervallet L/S = 0 – 10 l/kg for en række affaldstyper, som tænktes anvendt til bygge- og anlægsarbejder i Holland i starten af 1990'erne. Forholdet mellem de nye kappa-værdier bestemt for L/S = 0-2 l/kg og L/S = 0–10 l/kg ligger i intervallerne -13 til 22 henholdsvis -0,6 – 3,6. Der er

gennemført nogle scenarieberegninger til belysning af, hvad variationen/ændringer i kappa betyder for de resulterende grænseværdier. Beregningerne er gennemført for bestemmelse af grænseværdier for anvendelse af såvel kategori 1-jord (alle uorganiske forureningskomponenter) som kategori 2-jord (tre udvalgte forureningskomponenter og to genanvendelsesscenarier).

10 Referencer

Amterne på Sjælland og Lolland/Falster samt Frederiksberg og Københavns kommuner (2001): Vejledning i håndtering af forurenet jord på Sjælland (med efterfølgende rettelsesblade).

CEC (2003) Rådets beslutning 2003/33/EF af 19. december 2002 om opstilling af kriterier og procedurer for modtagelse af affald på deponeringsanlæg i henhold til artikel 16 og bilag II i direktiv 1999/31/EF (berigtigelse bragt i Den Europæiske Unions Tidende 20.05.2003).

DHI (2007) Håndtering af lettere forurenet jord. Slutrapport juni 2007.

DHI (2008) Håndtering af lettere forurenet jord – supplerende data for udvaskning af uorganiske og organiske stoffer fra jord. Slutrapport september 2007.

Grøn C, Borling P, Andersen L, Cohr K.H, Hansen J.B, Oberender A. (2008) Olie i jord – forslag til analysemetode og justering af jordkvalitetskriterier, samt grundlag for afskæringskriterier. Miljøprojekt Nr. 1225.

DHI (2006) Vurdering af genanvendelse af restprodukter set i forhold til revision af deponeringsbekendtgørelse. Rapport for DAFONET.

DHI og Miljøstyrelsen (2006): Notat vedrørende acceptkriterier for deponering: Metoder og forudsætninger. Notat udarbejdet for Miljøstyrelsen.

GEUS (2007) Grundvand – Status og udvikling 1989 – 2006. www.grundvandsovervaagning.dk

1. oktober 2007
Journal nr. MST-792-00076
UH/ARO

BILAG A

Projektbeskrivelse

Håndtering af lettere forurenet jord. Konsekvensvurdering.
Projektbeskrivelse
Bilag til kontrakt indgået mellem Miljøstyrelsen og DHI

Baggrund

Områdeklassificeringen af områder, der kan være lettere forurenede, træder i kraft den 1. januar 2008. Områdeklassificeringen betyder, at der er anmeldepligt, når jord flyttes fra lettere forurenede byområder. Der ventes i 2008 at blive flyttet ca. 8 mio. t jord med anmeldepligt i ca. 27.000 anmeldelser. Det skønnes, at ca. ¾ af jorden er uforurenet eller lettere forurenet, dvs. har et forureningsniveau under Miljøstyrelsens afskæringskriterier. Størstedelen af denne uforurenede eller lettere forurenede jord flyttes som følge af bygge- og anlægsarbejder. En mindre del af jorden flyttes for at nedsætte risikoen ved arealanvendelse.

Jord indeholder som udgangspunkt altid tungmetaller og TOC, dvs. jordens baggrundsindhold samt eventuelt tilførte mængder. PAHer og kulbrinter er typisk tilført jorden som følge af menneskeligt aktivitet. Det må forventes at indholdet af PAH forbindelser og petrogene kulbrinter er mindre end detektionsgrænsen i intakt istidsaflejringer.

Projektet har sammenhæng med projektet "Model for håndtering af lettere forurenet jord, fase 1" inklusiv tillægsprojekterne "Testning af forurenet jord for udvaskning af olie og PAH" og "Testning af forurenet jord for udvaskning af uorganiske komponenter".

På et følgegruppemøde den 29. august 2007 om ovennævnte projekt foreslog følgegruppen, at der udføres en konsekvensvurdering af forskellige scenarier for genanvendelse af den lettere forurenede jord. Til brug for konsekvensvurderingen stiller RGS90 en database over ca. et års analyseresultater til rådighed. Databasen indeholder resultater målt på byjord, som er modtaget på RGS90-anlægget på Selinevej. Her er tale om prøver af byjord, som ikke er erkendt forurenet ud over diffus jordforurening. RGS90 har desuden foreslået nogle dimensioner af typiske genanvendelsesprojekter.

Problemformulering

Grundlæggende har vi en stor mængde uforurenet og lettere forurenet jord, der skal kunne genanvendes, hvis det kan ske på en miljømæssigt forsvarlig måde. Når jorden flyttes, må det ikke give anledning til nye arealanvendelseskonflikter. Dette sikres ved, at jorden opfylder Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier eller overdækkes med et lag jord, der opfylder disse, eller en fast belægning.

Jorden må heller ikke give anledning til uacceptabel risiko for grundvandet. Vi har ikke i dag fagligt fastsatte kriterier for jordens faststofindhold, som forventes i tilstrækkelig grad at sikre mod risiko for grundvandsforurening. Det er formålet med nærværende projekt at fastsætte sådanne faststofværdier for de almindeligt forekommende forureningsstoffer.

Ideelt set vil der være ønskeligt, at mest muligt af jorden kan genanvendes frit til bygge- og anlægsarbejder, dvs. uden krav i forhold til beskyttelse af grundvandet (kategori 1). For den resterende del af jorden skal genanvendelse gennemføres i genanvendelsesprojekter med krav til dimensioner, indretning, afstand til grundvand m.v. (kategori 2).

Den jord, som ikke kan genanvendes, enten fordi efterspørgslen ikke er tilstrækkelig, eller fordi den ikke kan opfylde kriterierne, skal renses eller deponeres. Dette ligger uden for nærværende projekt.

Fremgangsmåde

Del 1 (Fastsættelse af faststofkriterier for kategori 1)
Med baggrund i eksisterende data skal kriterier for jord under kategori 1 fastlægges. Som udgangspunkt skal den jord, der er omfattet af kategori 1, kunne anvendes frit til bygge- og anlægsarbejder, uden krav til anlægshøjde, placering eller opsamling af indfiltrende vand. Det forudsættes dog, at projekternes dimensioner ikke er større end skitseret i forslaget fra RGS90.

For jord i kategori 1 fastlægges det øvre indhold af et eller flere af følgende stoffer: Arsen, bly, cadmium, chrom (total), kobber, kviksølv, nikkel, zink, PAH -forbindelser, kulbrinter (C_6-C_{10}; C_{10}-C_{25}; C_{25}-$C_{35/40}$) samt TOC.

Hvis det er muligt, opdeles kulbrintefraktionerne i mindre fraktioner på grundlag af resultaterne fra projektet "Olie i jord – forslag til analysemetode og justering af jordkvalitetskriterier samt grundlag for afskæringskriterier".

Den øvre grænse for indhold af enkeltkomponenter fastlægges efter følgende koncept:

<u>Model 1</u>

Koncentrationsniveauet (faststofindholdet) fastlægges for enkeltkomponenter på baggrund af en gennemsnitlig overholdelse af grundvandskvalitetskriteriet i porevandet, baseret på ligevægt. Som datamateriale benyttes de indsamlede data fra projektet "Model for håndtering af lettere forurenet jord, fase 1". Miljøstyrelsen beslutter, evt. i samråd med DHI, hvad kriterierne for estimering af maksimale udvaskningsværdier ud fra faststofindhold skal være (f.eks. baseret på, hvor stor en procentdel af populationen, der skal overholde udvaskningsgrænsen). Miljøstyrelsen og DHI bliver enige om en model for omregning af eluatkoncentrationen til porevandskoncentrationer ud fra et oplæg fra DHI.

<u>Model 2</u>

Som alternativ bestemmes et koncentrationsniveau for enkeltkomponenter (faststofindholdet), fastlagt på baggrund af en gennemsnitlig overholdelse af 10 x grundvandskvalitetskriteriet i porevandet, baseret på ligevægt. Som datamateriale benyttes de indsamlede data fra projektet "Model for håndtering af lettere forurenet jord, fase 1".
Dog må kriterierne for kategori 1 ikke være så lave, at de ikke kan opfyldes af uforurenet jord generelt. Miljøstyrelsen vil vurdere, om nogle af værdierne derfor skal være højere end dem, der er bestemt efter ovenstående fremgangsmåde.

På baggrund af kategori 1-afgrænsningen, beregnes, hvilken andel af "jorden" (baseret på RGS90's database over ca. 1 års analyseresultater), der vil være omfattet af kategori 1. Andel fastlægges for såvel enkeltparametre som for en samlet bedømmelse af jorden.

<u>Model 3</u>

Hvis det ved denne samlede bedømmelse af model 1 hhv. 2 opnås, at mindre en 5 % af jorden fra RGS 90 er omfattet af kategori 1, skal faststofværdierne, der giver en 5 % fraktion af jorden i kategori 1, beregnes.

- For disse beregnede 5 % - faststofværdier bestemmes porevandskoncentrationen, baseret på udvaskningsdata. Som datamateriale benyttes de indsamlede data fra "Model for håndtering af lettere forurenet jord, fase 1". Resultaterne indgår i konsekvensvurderingen som nævnt nedenfor.

For model 1, model 2 og eventuelt model 3 skal der foretages en konsekvensvurdering i forhold til grundvandsressourcen. Det vil sige, at der skal foretages en vurdering af, hvilke konsekvenser det vil have at kunne disponere kategori 1-jord frit, set i forhold til grundvandskvaliteten i det øvre grundvandsmagasiner og eventuelle vandforsyninger der er baseret på indvinding i overfladenære grundvandsmagasiner. DHI kommer med forslag til, hvorledes en simpel konsekvensvurdering kan formuleres.

Del 2 (Fastsættelse af faststofkriterier for kategori 2)
Kategori 2 omfatter som udgangspunkt jord, hvis indhold af arsen, bly, cadmium, chrom (total), kobber, kviksølv, nikkel, zink, PAH -forbindelser, kulbrinter (C_6-C_{10}; C_{10}-C_{25}; C_{25}-$C_{35/40}$) samt TOC svarer til forslagene i projektet "Model for håndtering af lettere forurenet jord, fase 1". Dvs. værdier, som er mindre end eller lig med en eller flere af de af Miljøstyrelsen tidligere foreslåede faststofindhold.

Hvis det er muligt, opdeles kulbrintefraktionerne i mindre fraktioner på grundlag af resultaterne fra projektet "Olie i jord – forslag til analysemetode og justering af jordkvalitetskriterier samt grundlag for afskæringskriterier".

Som udgangspunktet er det tanken, at jord i kategori 2 skal placeres på membran med perkolatopsamling og efterfølgende perkolatbortskaffelse. Kategori 2-jord skal dog også kunne anvendes uden membran i projekter af begrænset størrelse og med afstandskrav, dvs. med samme type begrænsninger, som er fastlagt for kategori 2-jord (eller kategori 3-jord) i bekendtgørelse nr. 1635 af 13. december 2006 om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder.

<u>Kategori 2-jord på membran</u>
For kategori 2-jord, placeret på membran, skal miljøbelastningen bestemmes ved ophør af perkolatopsamlingen, typisk når membranen ikke længere er funktionsdygtig. Ved beregning af miljøbelastningen tages udgangspunkt i følgende scenarier:
- membranens levetid antages at være henholdsvis 60 og 100 år
- nettonedbøren antages som gennemsnit 200 og 350 mm/år
- som udgangspunkt anvendes en anlægshøjde på 5 og 10 meter, jf. forslag af 4. september 2007 fra RGS90.

Miljøbelastningen skal ved ophør af membranens levetid kunne opfylde følgende krav:
- koncentrationen i porevandet skal, med baggrund i eluatkoncentrationen, være mindre eller lig med grundvandskvalitetskriteriet
- Som alternativ skal koncentrationen i porevandet, med baggrund i eluatkoncentrationen, være mindre eller lig med 10 x grundvandskvalitetskriteriet

Antallet af scenarier kan eventuelt begrænses til et antal dimensionerende forureningskomponenter og scenarier, ved at bortvælge de forureningskomponenter og scenarier, som på grundlag af erfaringerne fra fase 1 vurderes at være mindre kritiske.

For begge scenarier kan der opstå den situation, at grundvandskvalitetskriteriet eller 10 gange grundvandskvalitetskriteriet ikke kan opfyldes i porevandet for en eller flere komponenter i kategori 2-jorden, med de skitserede anlægshøjder. For den eller de komponenter skal der udarbejdes et

forslag til et nyt maksimalt niveau for faststofindhold af den pågældende komponent i kategori 2-jorden (baseret på porevandskoncentrationer 1 og 10 gange grundvandskvalitetskriteriet).

Det vurderes, hvorledes det sikres, at den forudsatte infiltration (som minimum) gennem kategori 2-jorden opnås, i forhold til de typiske anlægsformer for genanvendelsesprojekter (at regnvandet f.eks. ikke afstrømmer på overfladen).

Kategori 2-jord uden membran

Beregningerne skal fastlægge, hvilket volumen af kategori 2-jord, med et niveau som fastlagt i ovenstående beregninger med membran, der kan anbringes i et afgrænset projekt, samtidig med at grundvandskriteriet overholdes 30 meter nedstrøms for lokaliteten. Volumen fastlægges for alle enkeltkomponenter og for samleparametrene. Ved beregningen anvendes følgende standarddata:

- nedbøren antages som gennemsnit 350 mm/år
- som udgangspunkt anvendes et volumen defineret ved en kube med ens højde, brede og længde. Hvis beregningerne viser at kubens sider kan overstige 10 meter, regnes videre på et legeme, hvor højden er 10 meter, mens bredde og længde er ens. Dimensionen bestemmes da på baggrund af overholdelse af kravet POC 30 meter.
- Ved beregningerne indregnes grundvandets naturlige baggrundskoncentration af det pågældende sporstof/komponent

Del 3 (Udvaskningstest)

Som alternativ til ovenstående (for brugerne af reglerne) skal der opstilles kriterier for indholdet af forureningskomponenter i eluatet efter en udvaskningstest, således at testresultatet kan kategorisere jorden i enten kategori 1, kategori 2 eller en højere kategori, med samme genanvendelsesmuligheder for kategori 1 og 2 som i del 1 og 2 og med samme beskyttelse af grundvandet.

BILAG B

Vurdering af kappa-værdier for jord

Baggrund og formål

I forbindelse med projektet "Håndtering af jord – konsekvensvurdering", som DHI i 2007/2008 har gennemført for Miljøstyrelsen, er der udført en række risikovurderinger, hvor beregningen af stofudvaskningen fra genanvendelsesprojekter med jord har været baseret på den såkaldte CSTR-model, som medfører anvendelsen af en såkaldt kappa ()-faktor for hvert af de stoffer, der indgår i vurderingen. For at sikre konsistens med andre regelsæt, som omfatter jord, har udgangspunktet for arbejdet i projektet været at anvende samme metodik, som er benyttet ved beregning af udvaskningskriterierne for modtagelse af affald til deponering i såvel EU's Rådsbeslutning 2002/33/EF som ved den igangværende danske implementering af denne. Dette betyder blandt andet, at der ved beregningerne i konsekvensvurderingsprojektet er anvendt samme kappa-værdier, som ved beregningen af EU-grænseværdierne. Disse kappa-værdier stammer fra Aalbers et al. (1996) og er baseret på lineær regression af kolonneudvaskningsdata for et betydeligt antal restprodukter (affald). Da kappa i princippet er/kan være afhængig af faststofmatricen (men på grund af begrænsede datamængder er anvendt, som om den var uafhængig heraf), er de anvendte kappa-værdier ikke nødvendigvis repræsentative for lettere forurenet jord.

I forbindelse med den eksterne kvalitetskontrol af konsekvensvurderingsprojektet, som Miljøstyrelsen har bedt Thomas H. Christensen fra DTU om at gennemføre, blev der den 11. juni 2008 afholdt et møde mellem Ulla Højsholt, Miljøstyrelsen, Thomas H. Christensen samt Jette Bjerre Hansen og Ole Hjelmar, DHI. På mødet aftaltes det på Thomas Christensens foranledning, at DHI skulle foretage en vurdering af repræsentativiteten af de anvendte kappa-værdier for jord. Det aftaltes yderligere, at vurderingen skulle baseres på eksisterende resultater fra kolonneudvaskningstests på jord, som DHI har gennemført, og at der skulle lægges særlig vægt på første del af udvaskningskurverne (lave L/S-forhold). Dette notat beskriver resultaterne af vurderingen.

Data og metode

Som grundlag for vurderingen er der fundet 11 sæt udvaskningsdata fra kolonneudvaskningstests. De 5 datasæt er tilvejebragt ved hjælp af CEN/TS 14405 og omfatter analyser af 7 eluater i intervallet L/S = 0 – ca. 10 l/kg for blandt andet pH, ledningsevne, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn og DOC. De øvrige 6 datasæt er tilvejebragt ved hjælp af NT ENVIR 002 (nogenlunde samme metode som CEN/TS 14405), men omfatter kun 5 eluater i intervallet L/S = 0 – ca. 2 l/kg analyseret for blandt andet pH, ledningsevne, As. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb og Zn, men ikke Ba, Hg, Mo, Sb og Se. De testede jorde er vist i tabel 1. I bilag 1 ses afbildninger af de anvendte udvaskningsdata.

Tabel 1

Jord-ID	Kolonnetest	Jordtype
R-460-04	CEN/TS 14405	Forurenet byjord, opgravet på Skanderborggade på Østerbro (RGS 90)
R-166-06	CEN/TS 14405	Indbygget klasse 4-jord fra specialdepot på KMC
R-086-07-	CEN/TS 14405	Indbygget klasse 2/3-jord fra deponi på Prøvestenen
R-090-07	CEN/TS 14405	Forurenet jord anvendt til phytoremedieringsforsøg, KMC
R-091-07	CEN/TS 14405	Uforurenet/svagt forurenet jord anvendt til phytoremedieringsforsøg, KMC
Bor 4T-1	3-dobbelt test med NT ENVIR 002	Topjord (0-0,4 m.u.t.), lerholdigt sand, muld, fra mark 4 ved Borris forsøgsstation, pH = 5,6, TOC = 13 g/kg
Bor 4T-2		
Bor 4T-3		
Ove-For T	NT ENVIR 002	Forurenet topjord fra Over Jerstal, pH = 5,3, TOC = 16 g/kg, lerbl. sandj., muld
Gri-For T	NT ENVIR 002	Forurenet topjord fra Grindsted, pH = 5,5, TOC = 24 g/kg, sandjord
Tys A1 U	NT ENVIR 002	Uforurenet underjord (0,5 – 1 m) fra Tystofte, pH = 6,3, TOC = 1,6 g/kg, sandblandet lerjord

Oversigt over jordprøver, som er testet.

Udgangspunktet for vurderingen er en antagelse af, at udvaskningsforløbet for et givet stof kan beskrives som en eksponentielt aftagende koncentration som funktion af L/S:

$$C = C_0 \exp(-(L/S)) \qquad (1)$$

hvor C er den koncentration i en eluatfraktion, som svarer til den aktuelle værdi af L/S,
C_0 er initialkoncentrationen (som antages at forekomme i den første eluatfraktion),
for et givet stof er en konstant - et udtryk for den hastighed, hvormed C aftager som funktion af L/S,
L/S er væske/faststofforholdet (den gennemsnitlige værdi for en given eluatfraktion er anvendt).

Af ligning (1) fremgår det, at:

$$\ln(C) = \ln(C_0) - (L/S) \qquad (2)$$

dvs. ln(C) bør være en lineær funktion af L/S med hældningen –.

bestemmes af kolonneudvaskningsdataene ved lineær regression af ln(C) vs. L/S for hver analyseparameter og hver udvaskningstest. Til bestemmelsen anvendes de første 5 eluater (op til L/S = ca. 2 l/kg) af datasæt, hvor højst én koncentrationsværdi er angivet som < detektionsgrænsen.

Regressionen er foretaget på alle datasæt, som opfylder ovenstående betingelse (antal datasæt = N), også for datasæt, hvor koncentrationen stiger eller er konstant som funktion af L/S, f.eks. pga. opløselighedskontrol, evt. kombineret med ændringer i pH. Hvis koncentrationen stiger, som det f.eks. er tilfældet med flere af datasættene for udvaskning af As, fås en negativ værdi af .

Resultater

I tabel 2 ses dels resultaterne af den tidligere bestemmelse af (Aalbers et al., 1996), dels resultaterne af denne undersøgelse, der er angivet som middelværdi af bestemt ved regressionen, standardafvigelsen på middelværdien samt antallet af datasæt (N), der indgår i hver bestemmelse. Der er vist resultater for L/S-intervallerne 0–2 l/kg og 0–10 l/kg. Detaljerede data for de enkelte regressionsanalyser samt afbildninger af ln(C) vs. L/S for de enkelte parametre er vist i bilag 2.

Tabel 2
Resultater af denne og den tidligere bestemmelse af .

Parameter	Tidligere bestemt af Aalbers et al. (1996)		Bestemt i denne undersøgelse for jord					
	Bestemt for L/S = 0 – 10 l/kg		L/S = 0 – 2 l/kg			L/S = 0 – 10 l/kg		
	Middelværdi og 95 % konfidensinterval for κ (kg/l)	N	Middelværdi (kg/l)	Std.afv. (kg/l)	N	Middelværdi (kg/l)	Std.afv. (kg/l)	N
As	0,03 ± 0,05	44	-0,39	0,56	11	-0,018	0,11	5
Ba	0,15 ± 0,04	55	0,47	0,23	5	0,074	0,047	5
Cd	0,50 ± 0,10	37	1,1	0,65	7	0,33	0,13	3
Cr	0,18 ± 0,03	82	0,63	1,1	6	0,37	-	1
Cu	0,28 ± 0,03	90	0,48	0,59	10	0,29	0,17	5
Hg	0,05 ± 0,03	5	1,1	0,16	3	0,17	0,06	3
Mo	0,35 ± 0,04	76	0,15	0,38	5	0,20	0,14	5
Ni	0,29 ± 0,05	37	0,73	0,30	11	0,21	0,035	5
Pb	0,27 ± 0,06	52	0,19	0,56	8	0,22	0,09	2
Sb	0,11 ± 0,07	33	0,61	0,38	5	0,40	0,21	5
Se	0,38 ± 0,18	10	0,75	0,33	5	0,19	0,059	5
Zn	0,28 ± 0,05	41	0,46	0,66	5	0,24	0,15	5
DOC	0,17 (ECN)	-	1,1	0,18	5	0,20	0,06	5

I bilag 3 er der yderligere for hvert af de datasæt, som indgår i regressionsanalysen for de enkelte parametre foretaget en sammenligning af de observerede udvaskningsdata og udvaskningen beregnet ved hjælp af ligning (1) og dens integrerede form (ligning (3) til bestemmelse af udvaskede mængder, E):

$$E = (C_0/)(1 - \exp(- (L/S))) \qquad (3)$$

Dataene er vist dels som koncentrationer (C) i eluaterne, dels som udvaskede stofmængder (E), som funktion af L/S. Til beregningen af de teoretiske værdier er for hver parameter anvendt den -værdi, som er fundet som middelværdi for alle indgående datasæt for L/S = 0-2 l/kg (kolonne 4 i tabel 2).

Diskussion og konklusion

Som det fremgår af tabel 2 er der en betydelig forskel på de -værdier, der er bestemt ud fra hele udvaskningskurven (L/S = 0 – ca. 10 l/kg) og de værdier, der er bestemt på grundlag af den første del af kurven (L/S = 0 - ca. 2 l/kg). Den første del af udvaskningskurven er stejlest og giver i alle tilfælde -værdier, der er større end de værdier, der er bestemt ud fra hele kurven. Usikkerheden på bestemmelserne (angivet ved standardafvigelsen) er i næsten alle tilfælde ganske stor, og for alle parametre altid størst for bestemmelsen af middelværdien af for den første del af kurven.

I tabel 3 ses for hver parameter forholdet mellem hver af de to beregnede -værdier og den af Aalbers et al. (1996) bestemte -værdi.

Tabel 3
Forholdet mellem de i denne undersøgelse fundne og de tidligere fundne -værdier.

Parameter	(L/S=2)/(Aalbers et al.)	(L/S=10)/(Aalbers et al.)
As	-13	-0,60
Ba	3,1	0,49
Cd	2,2	0,66
Cr	3,5	2,1
Cu	1,7	1,0
Hg	22	3,4
Mo	0,43	0,57
Ni	2,5	0,72
Pb	0,70	0,81
Sb	5,5	3,6
Se	2,0	0,50
Zn	1,6	0,86
DOC	6,5	1.2

For As er der både for L/S = 0-2 l/kg og L/S = 0-10 l/kg fundet negative værdier af , svarende til koncentrationsniveauer der ikke aftager, men vokser. Modellen er derfor i princippet ikke anvendelig for As, og vil, hvis værdierne fundet af Albers et al. (1996) anvendes, kunne risikere at undervurdere den faktiske udvaskning.

For de øvrige parametre, med undtagelse af Hg og Sb, gælder det, at de i denne undersøgelse fundne -værdier for L/S = 0-10 l/kg ligger indenfor intervallet ca. 0,5 (Aalbers et al.) < < 2 (Aalbers et al.). For Hg og Sb ligger værdien på ca. 3,5 (Aalbers et al.).

De fundne værdier af for L/S = 0-2 l/kg for Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se og Zn ligger indenfor intervallet 0,43 (Aalbers et al.) < < 3,5 (Aalbers et al. For Hg, Sb og DOC ligger for L/S = 2 l/kg på henholdsvis 22 (Aalbers et al.), 5,5 (Aalbers et al.) og 6,4 (Aalbers et al.).

I forbindelse med beregningerne af EU's grænseværdier for modtagelse af affald på en deponeringsenhed for ikke-farligt affald der modtager stabilt, ikke-reaktivt farligt affald, blev der gennemført en række sensitivitetsberegninger, herunder en undersøgelse af resultatets følsomhed overfor ændringer i .

I tabel 4 ses for en række parametre de faktorer, hvormed resultatet (grænseværdien for udvaskning ved L/S = 10 l/kg) vil blive ændret ved henholdsvis en halvering og en fordobling af de -værdier, som er beregnet af Aalbers et al. (1996).

Tabel 4
Resultat af sensitivitetsanalyse udført i forbindelse med beregning af EU's grænseværdier for udvaskning fra affald, som ønskes deponeret.

Parameter	Ændring af grænseværdi ved halvering af (faktor)	Ændring af grænseværdi ved fordobling af (faktor)
As	1.24	0,84
Ba	0.70	1,28
Cd	1,0	1,08
Cr	1,11	0,78
Cu	0,90	1,07
Hg	1,38	0,72
Mo	0,91	1,16
Ni	1,0	0,91
Pb	1,0	0,89
Sb	0,82	1,14
Se	0,89	1,31
Zn	0,97	0,96

Det fremgår af tabel 4, at selv betydelige ændringer af ikke synes at ville forårsage væsentlige ændringer af størrelsesordenen af den beregnede grænseværdi for udvaskning for de undersøgte stoffer.

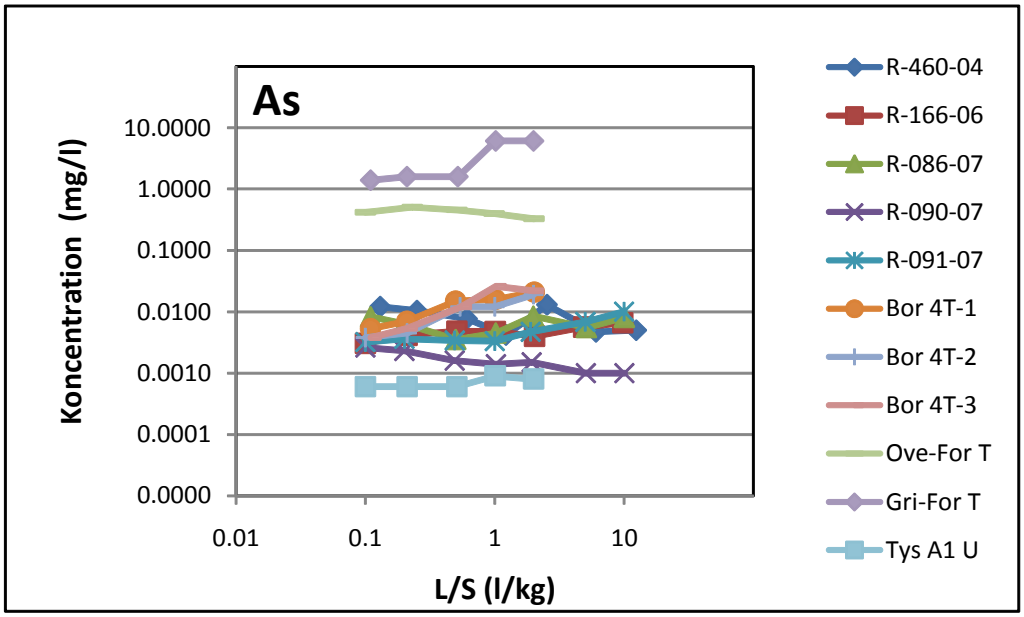
Den i tabel 4 beskrevne analyse er baseret på nogle andre scenarier, end dem der er anvendt i projektet "Håndtering af jord – konsekvensvurdering", og det vil derfor være hensigtsmæssigt at få undersøgt sensitiviteten af de aktuelle beregninger overfor variationer i kappa set i lyset af forskellene mellem de i denne rapport fundne kappa-værdier baseret på hhv. L/S = 2 l/kg og L/S = 10 l/kg og de af Aalbers et al. (1996) fundne værdier. Miljøstyrelsen har på dette grundlag bedt DHI om at gennemføre en sådan sensitivitetsanalyse (se Bilag G).

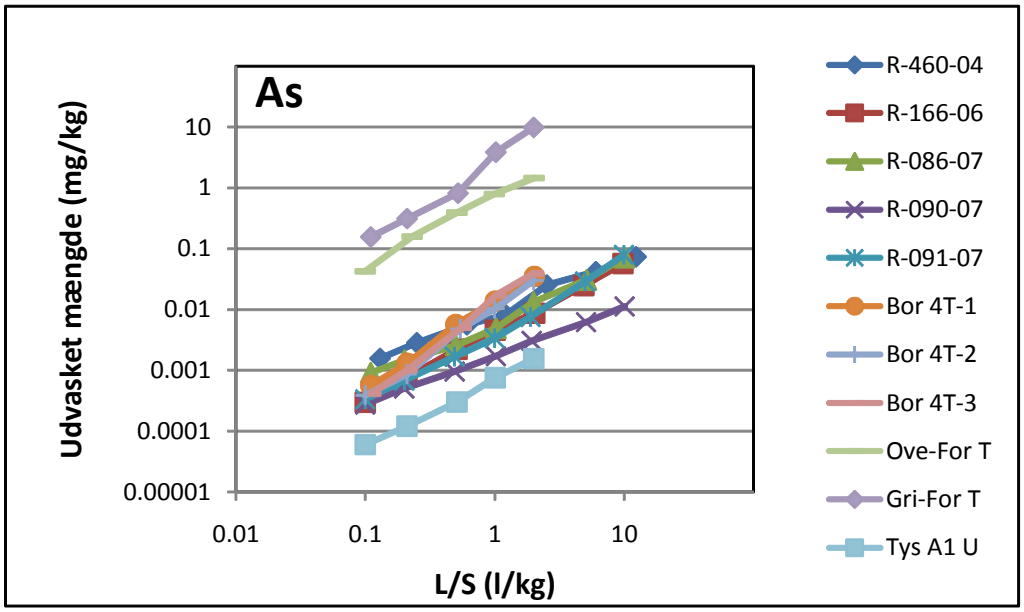
Reference

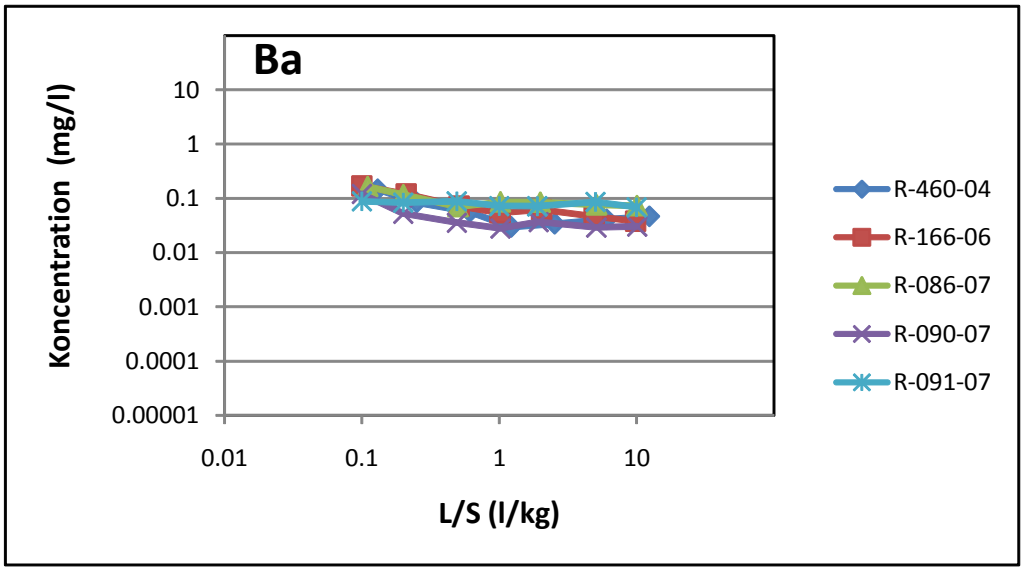
Aalbers, Th.G., de Wilde, P.G.M., Rood, G.A., Vermij, P.H.M., Saft, R.J., van de Beek, A.I.M., Broekman, M.H., Masereeuw, P., Kamphuis, Ch., Dekker, P.M. Valentijn, E.A. (1996): Environmental quality of primary and secondary materials in relation to re-use and protection of soil and surface water. RIVM-report no. 771402007, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

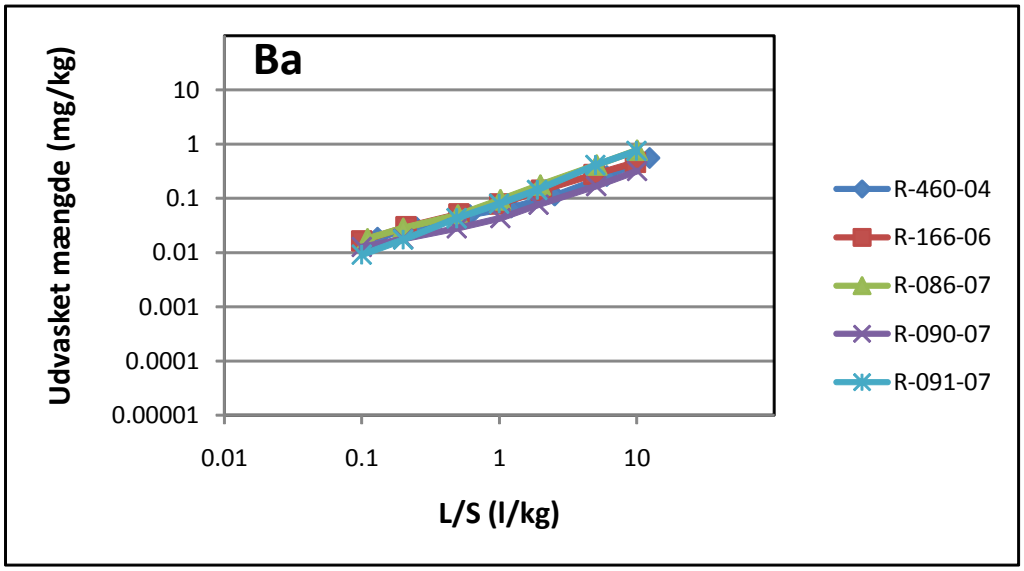
Bilag 1

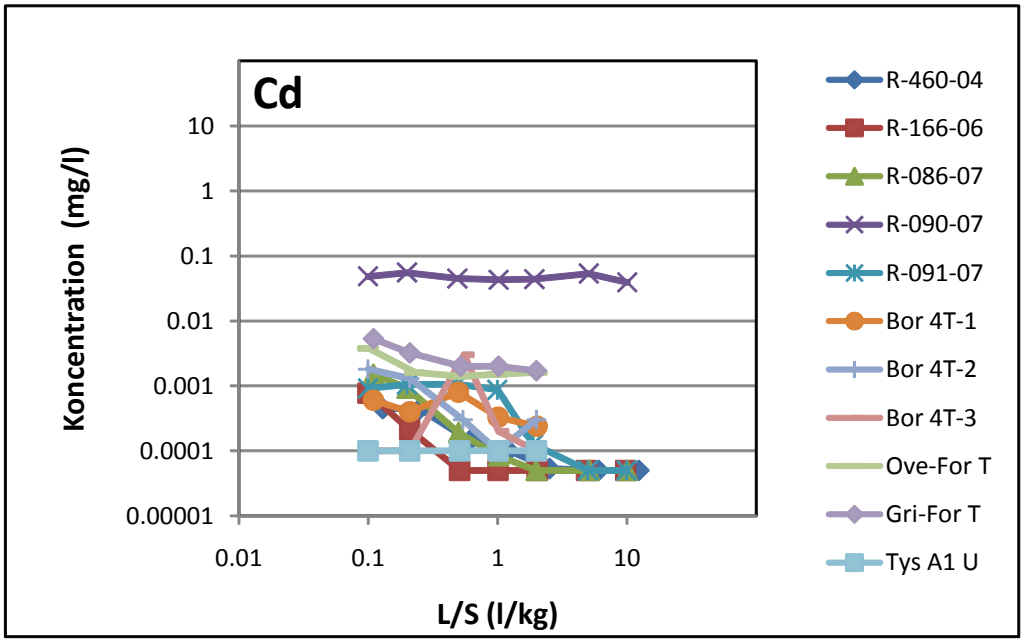
Grafisk afbildning af kolonneudvaskningsdata anvendt i undersøgelsen

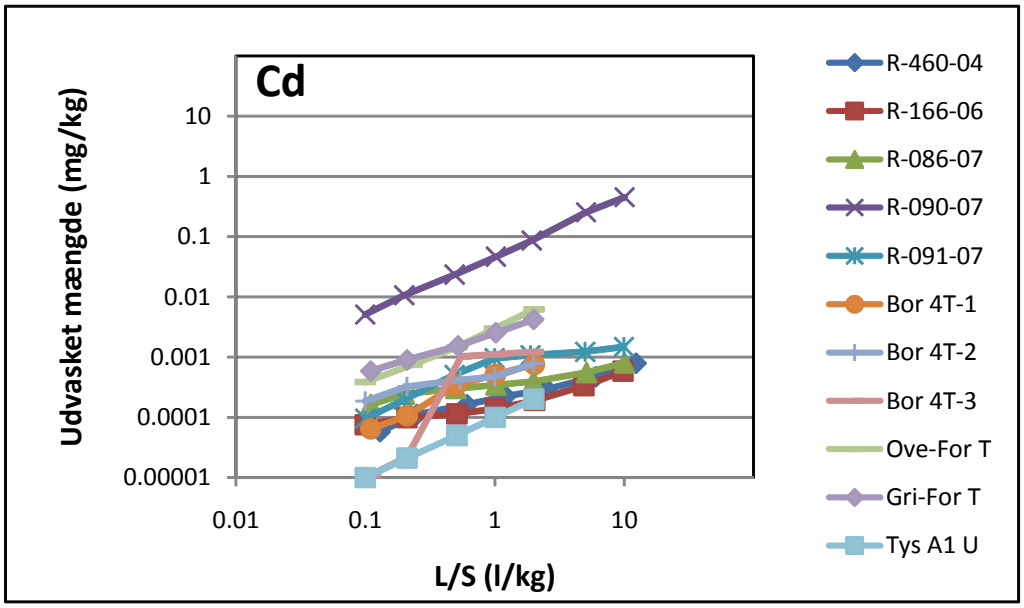

As
Koncentration (mg/l)
10.0000
1.0000
0.1000
0.0100
0.0010
0.0001
0.0000
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

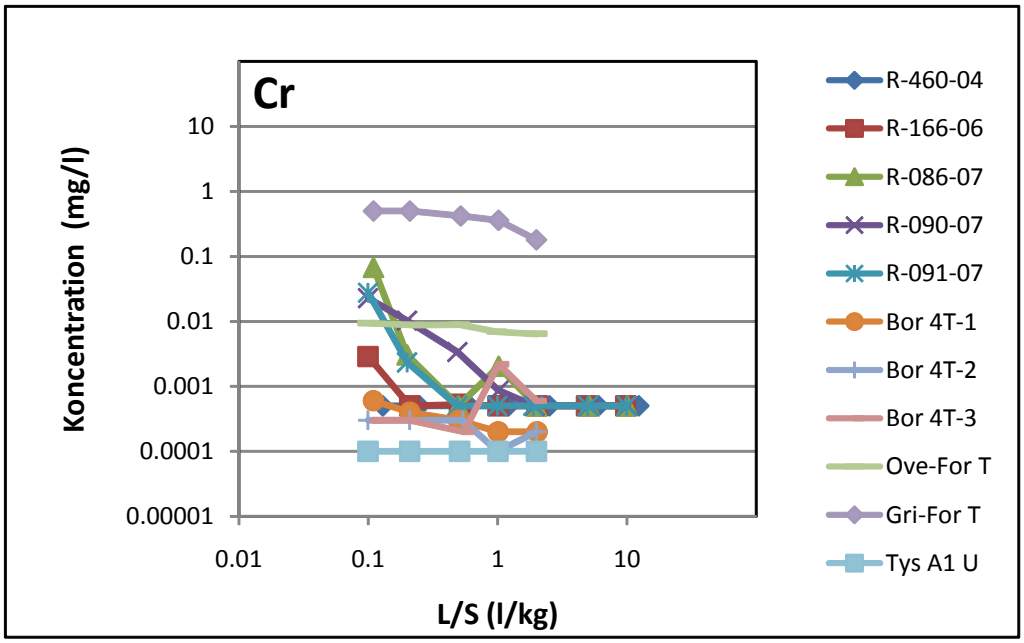

As
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

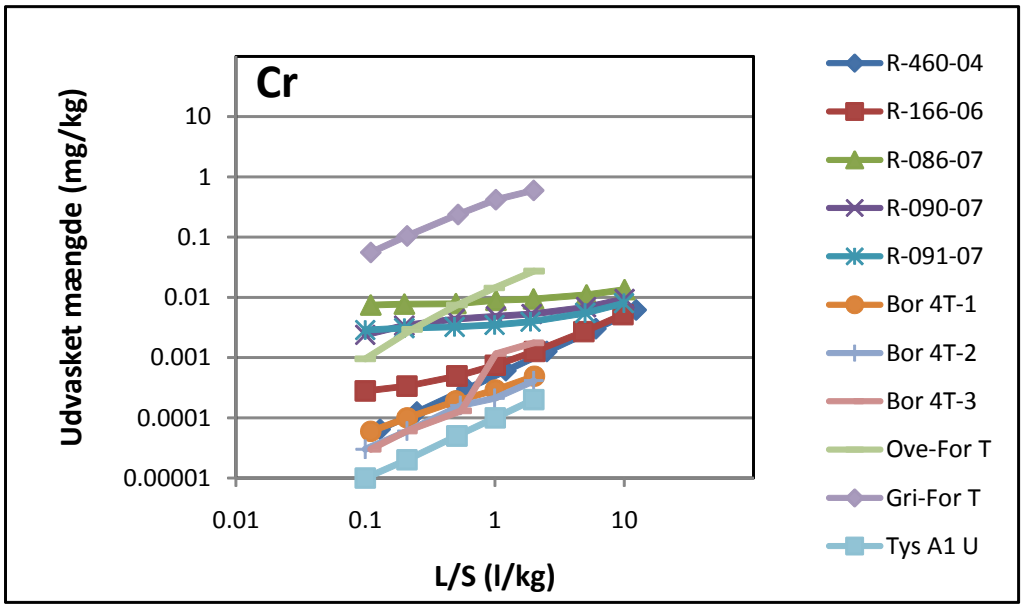

Ba
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

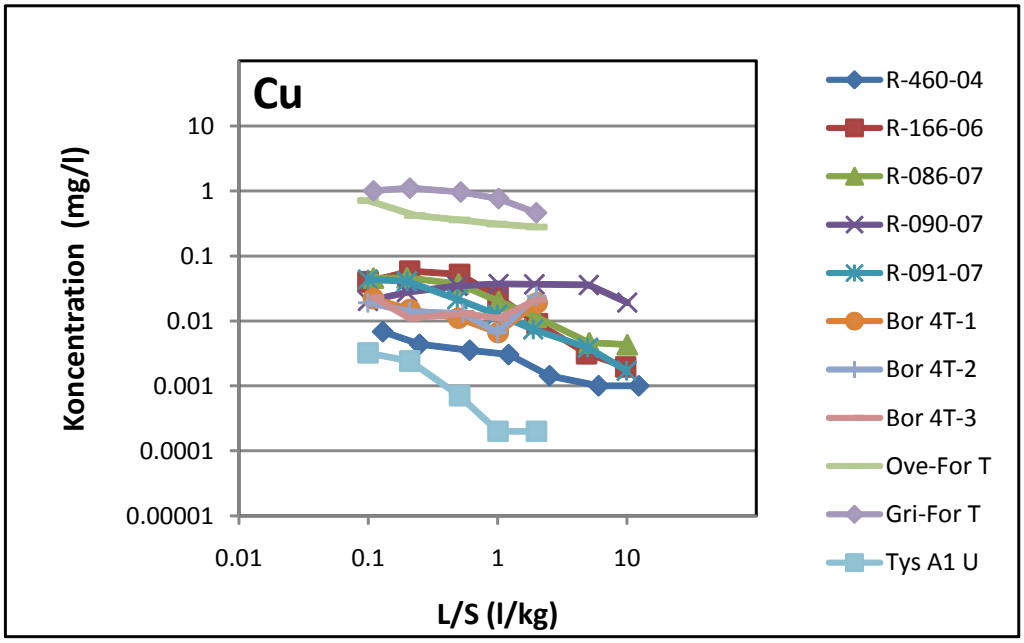

Ba
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

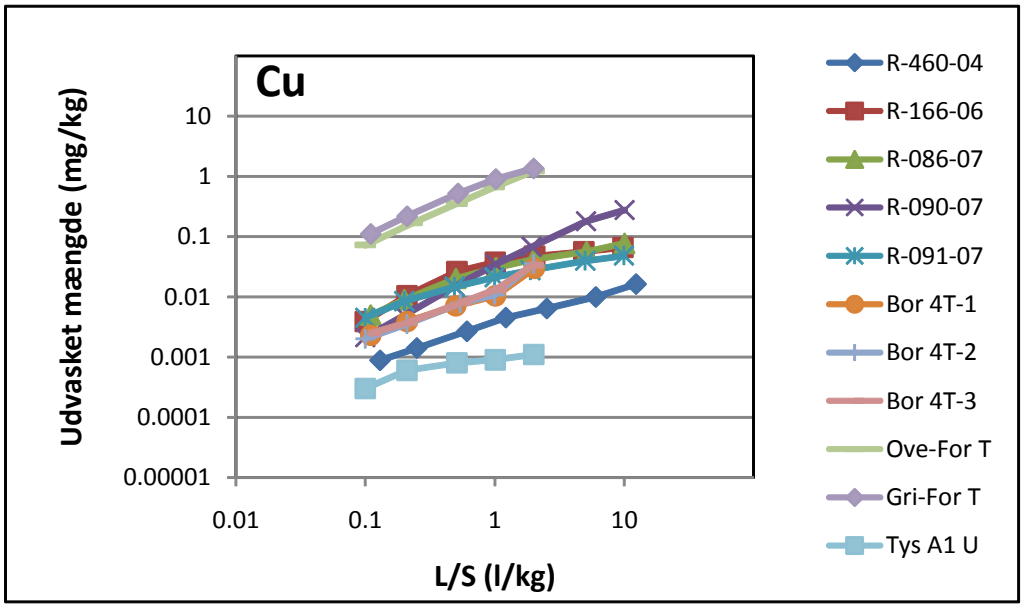

Cd
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

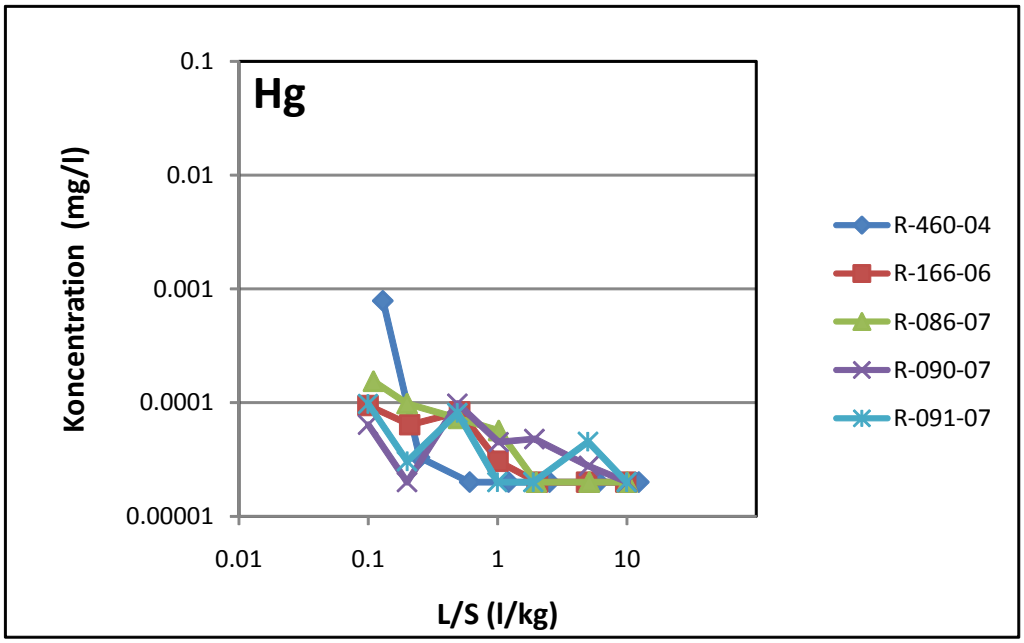

Cd
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

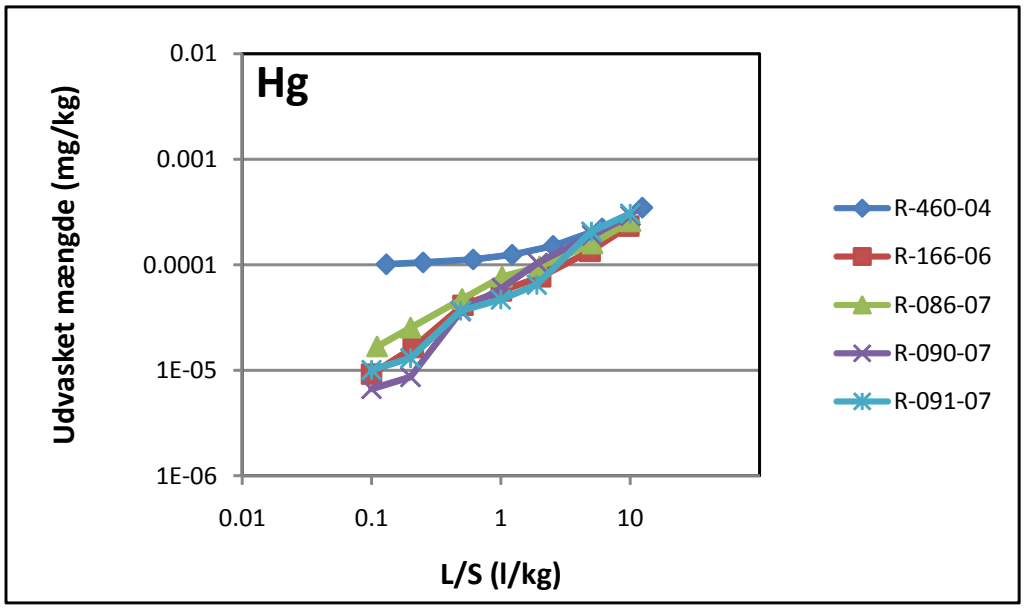

Cr
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

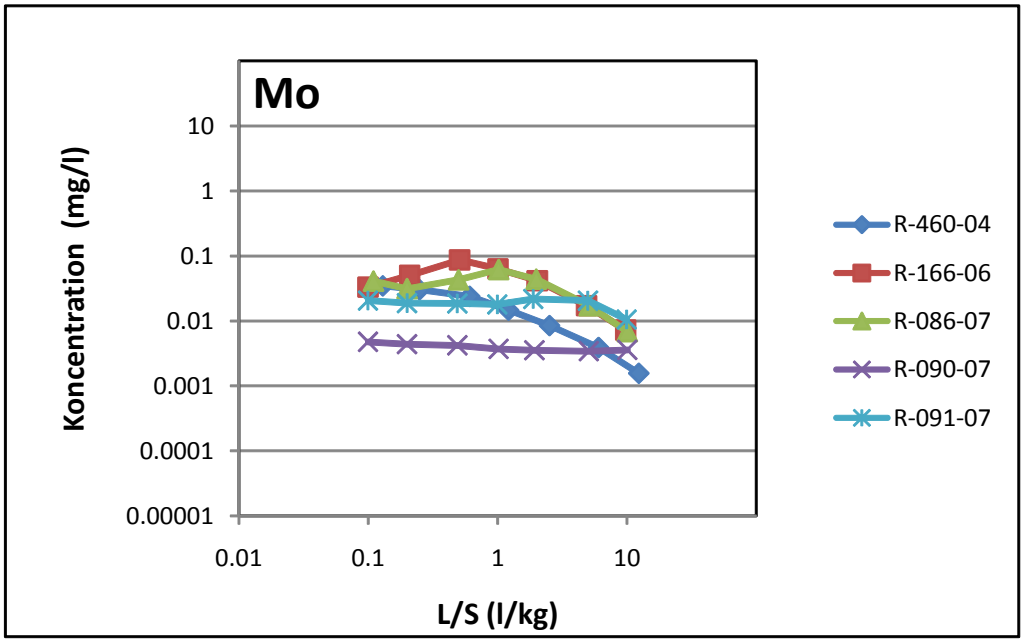

Cr
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

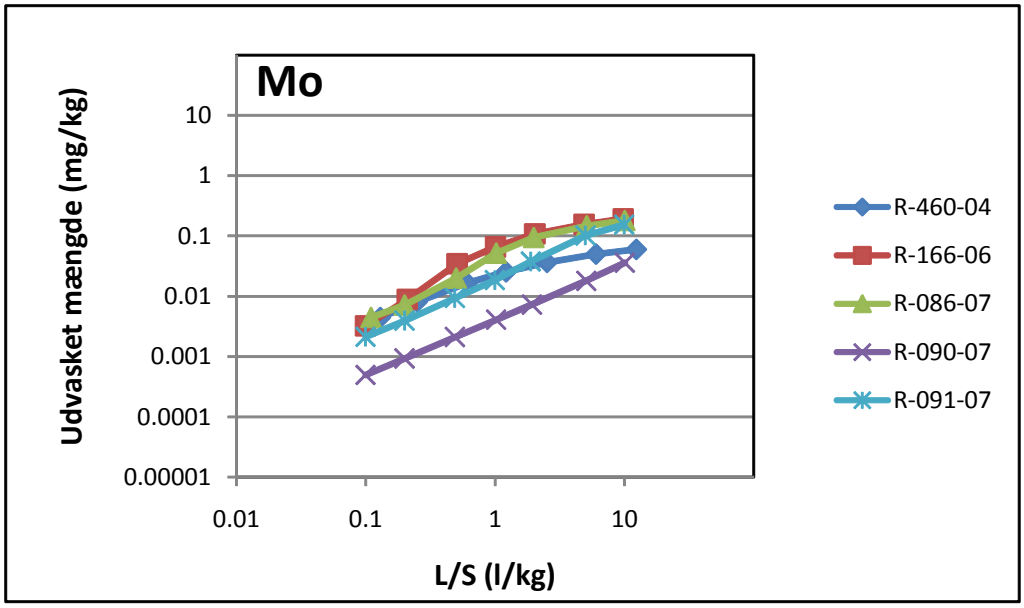

Cu
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

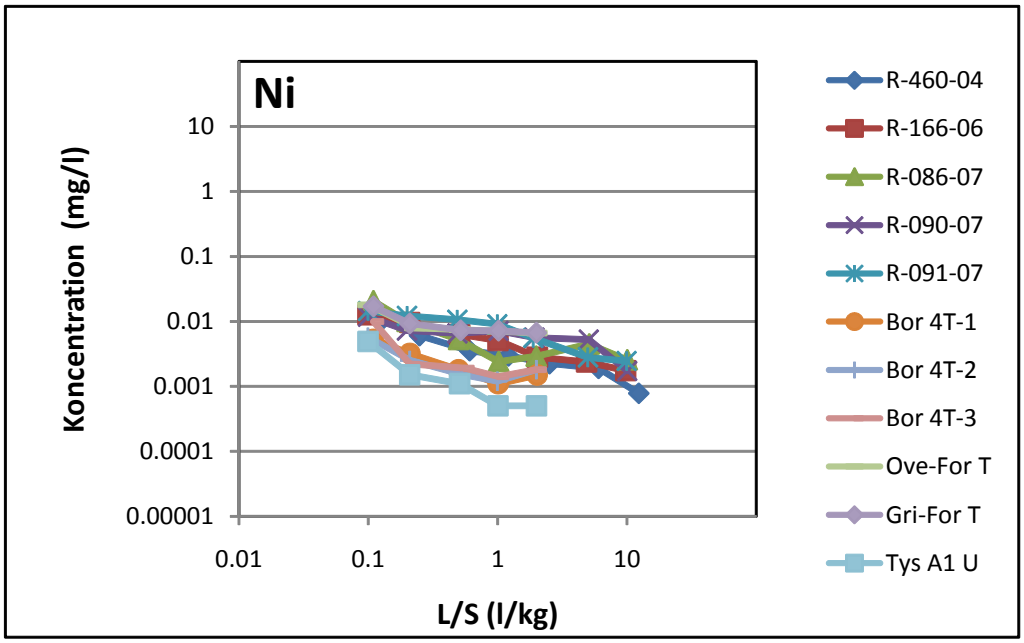

Cu
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

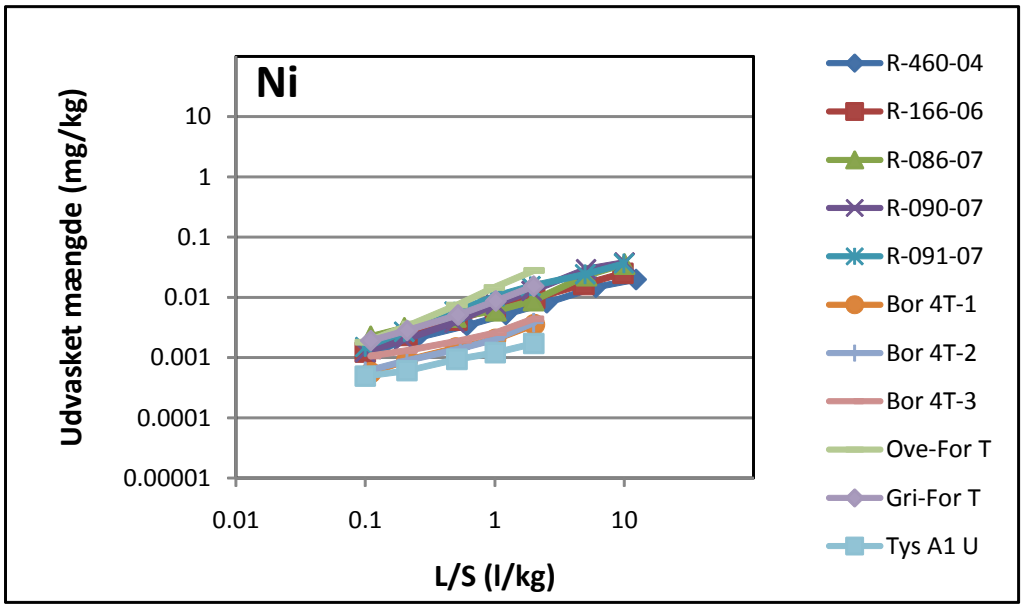

Hg
Koncentration (mg/l)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

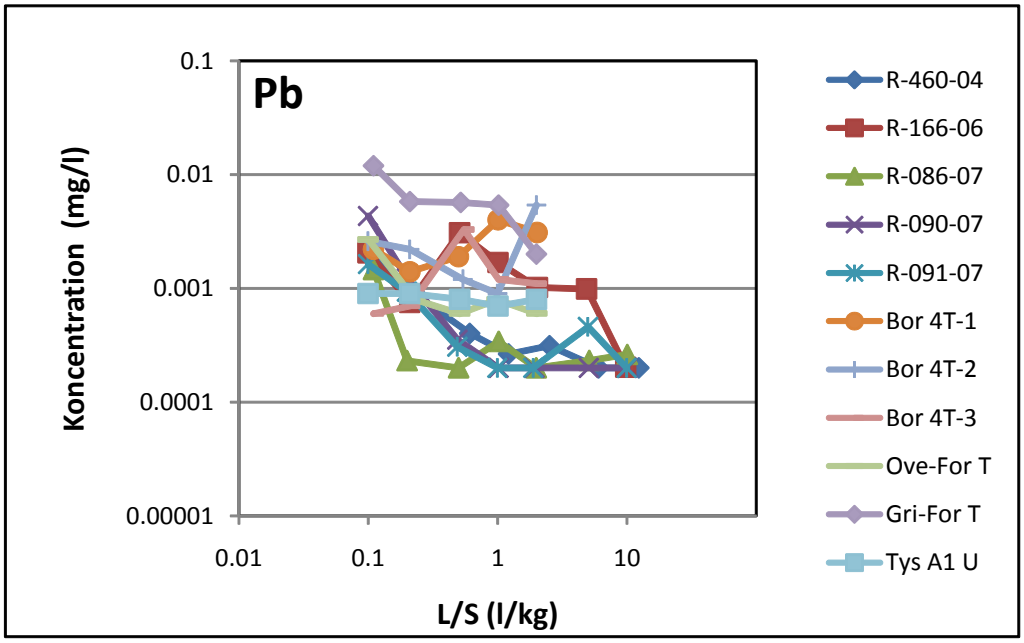

Hg
Udvasket mængde (mg/kg)
0.01
0.001
0.0001
1E-05
1E-06
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

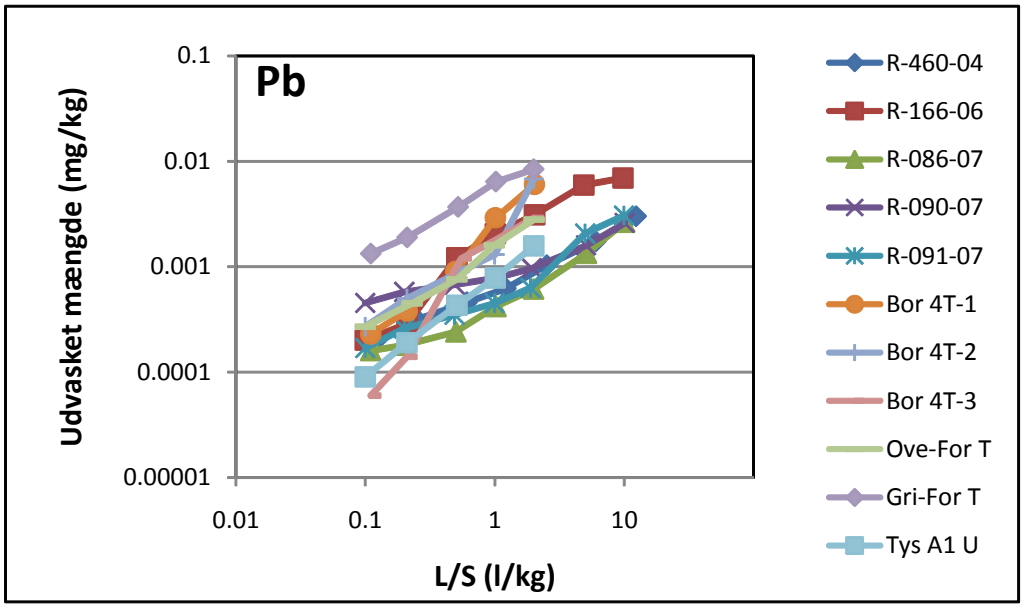

Mo
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

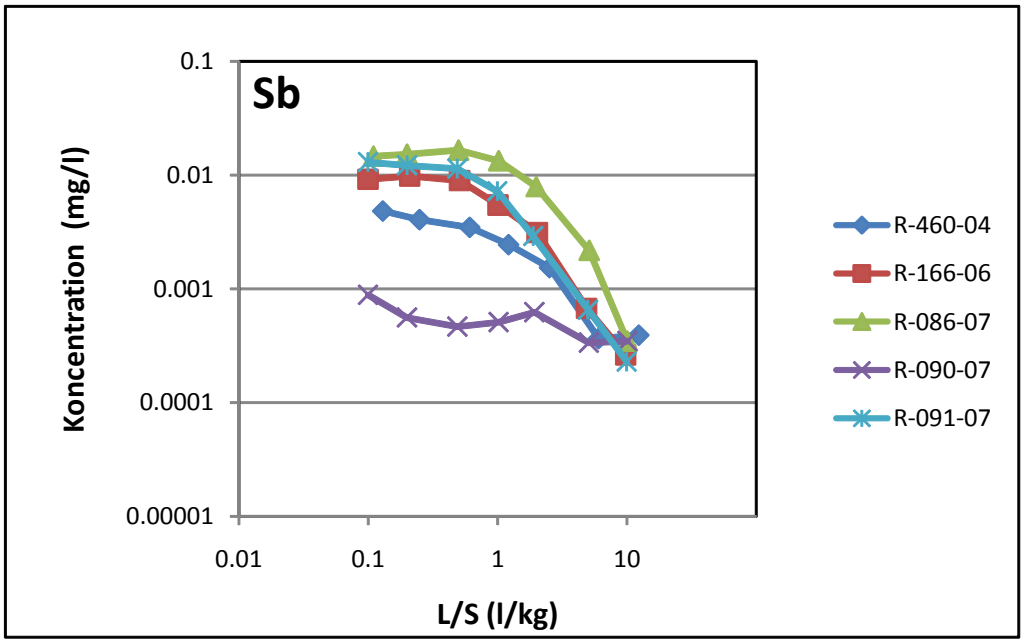

Mo
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

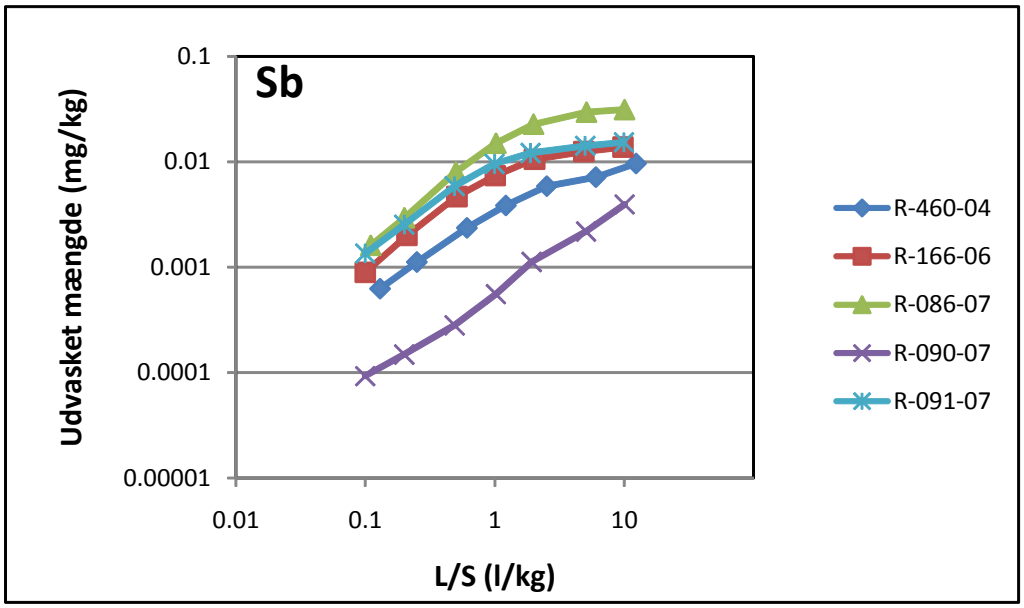

Ni
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

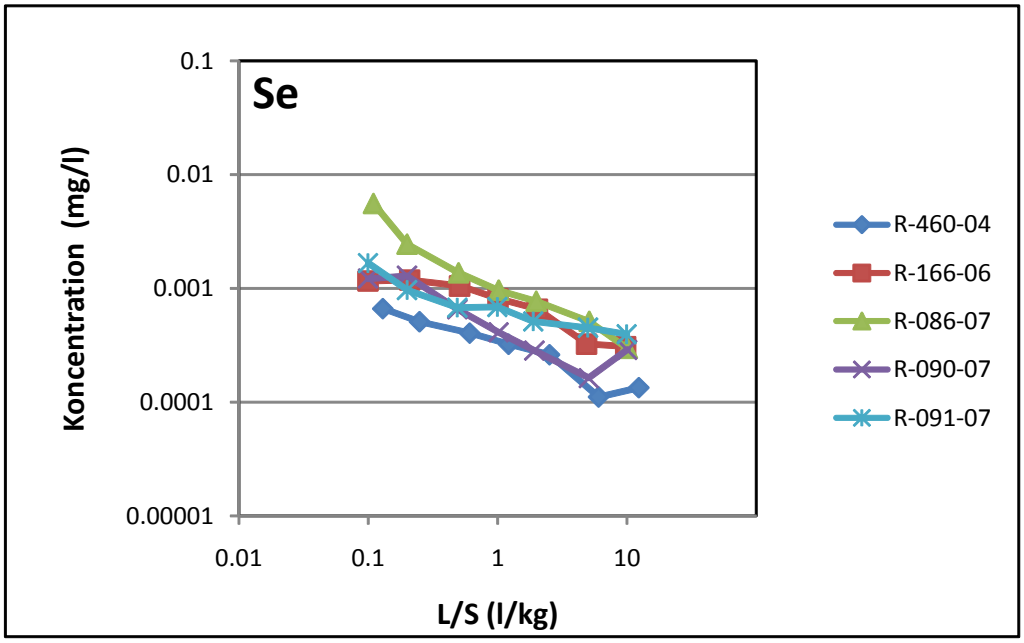

Ni
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

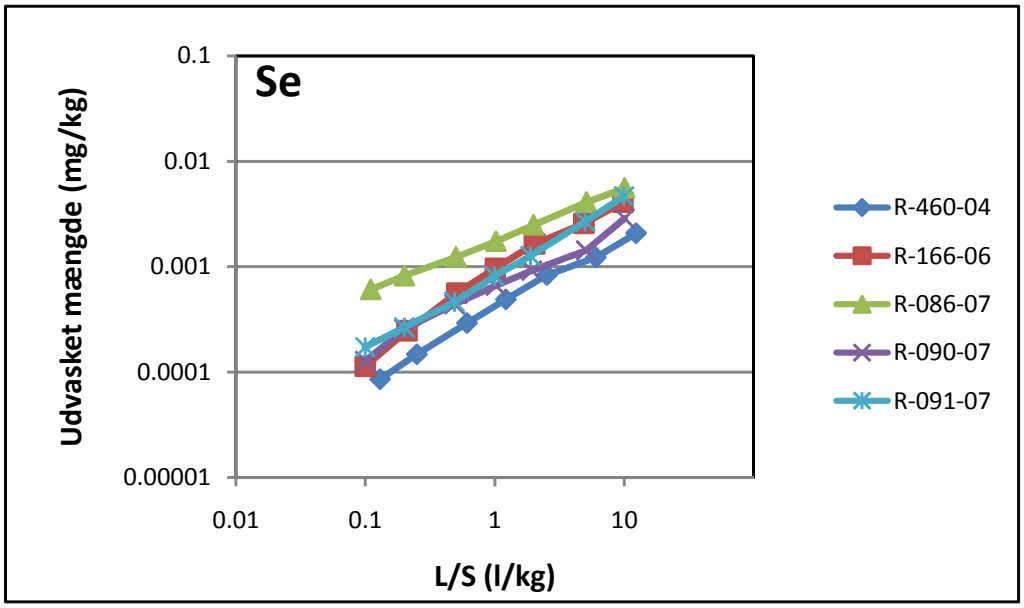

Pb
Koncentration (mg/l)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

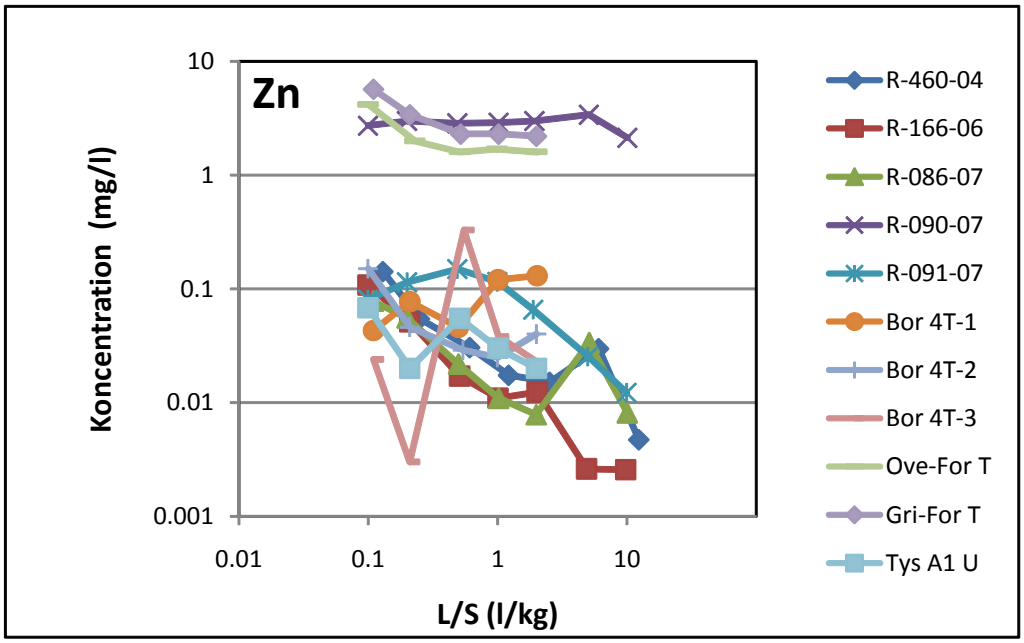

Pb
Udvasket mængde (mg/kg)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

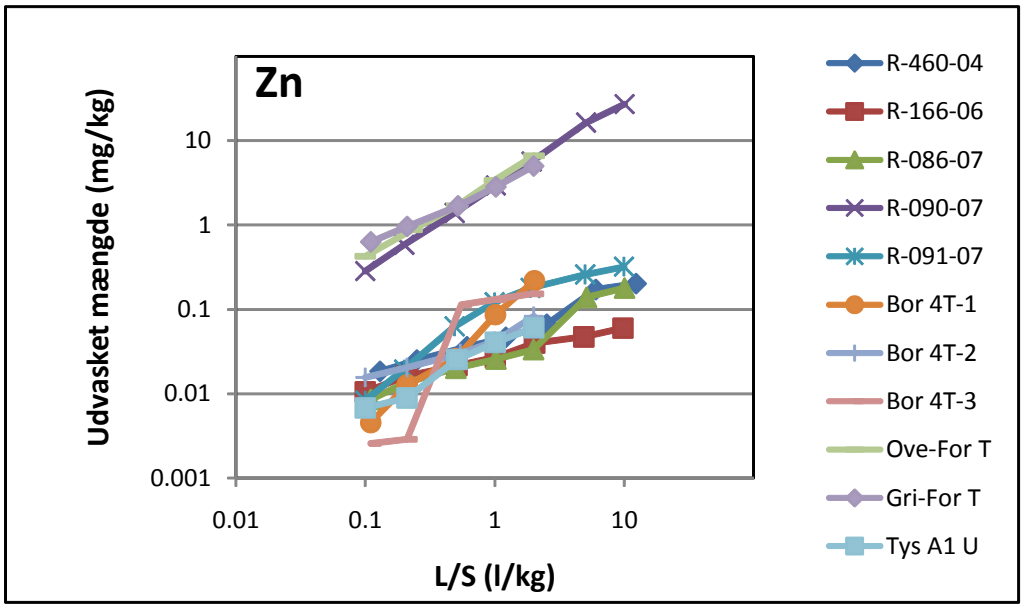

Sb
Koncentration (mg/l)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

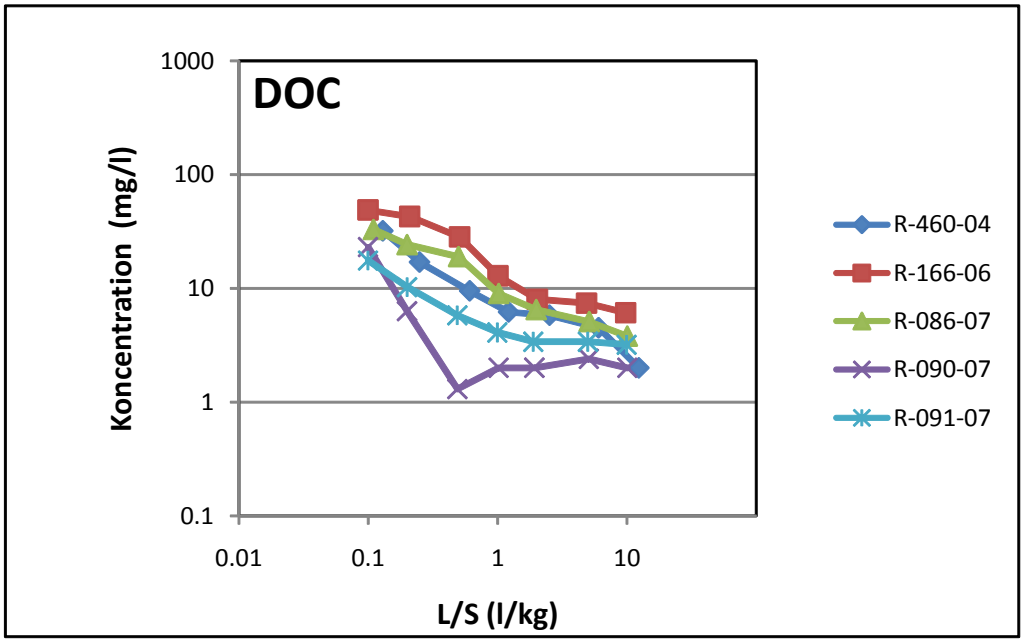

Sb
Udvasket mængde (mg/kg)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

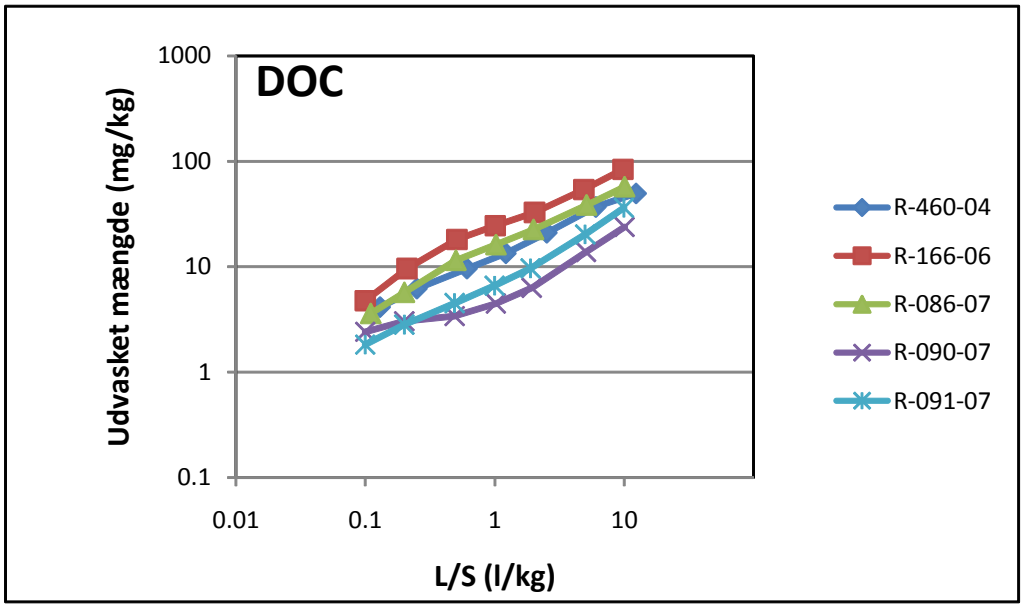

Se
Koncentration (mg/l)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07

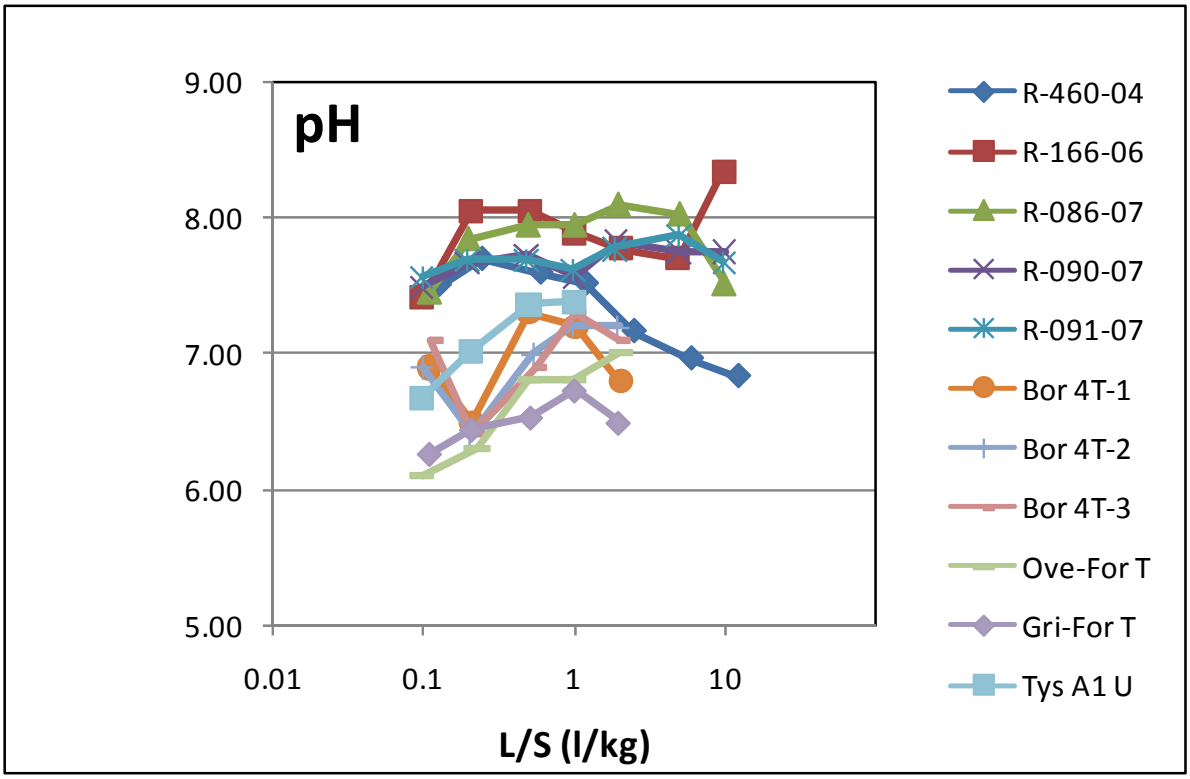

Se
Udvasket mængde (mg/kg)
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.00001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07


Zn
Koncentration (mg/l)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U


Zn
Udvasket mængde (mg/kg)
10
1
0.1
0.01
0.001
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U


DOC
Koncentration (mg/l)
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07


DOC
Udvasket mængde (mg/kg)
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07


pH
9.00
8.00
7.00
6.00
5.00
0.01
0.1
1
10
L/S (l/kg)
R-460-04
R-166-06
R-086-07
R-090-07
R-091-07
Bor 4T-1
Bor 4T-2
Bor 4T-3
Ove-For T
Gri-For T
Tys A1 U

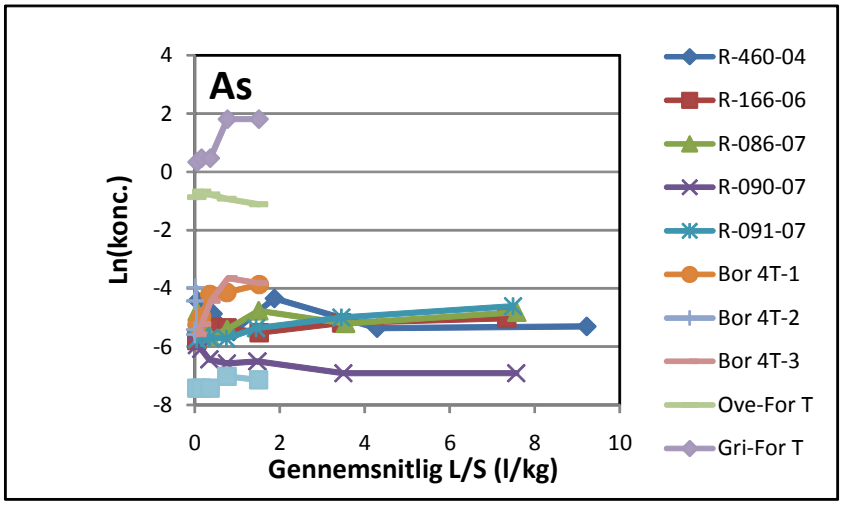
Bilag 2

Detaildata fra regressionsanalysen

As

Jord	C0 (mg/l)	Kappa (kg/l)	L/S=0-2 l/kg R^2	Kappa (kg/l)	L/S=0-10 l/kg R^2
R-460-04	0.012100	-0.022	0.0012	0.0745	0.272
R-166-06	0.003060	-0.081	0.0692	-0.0737	0.632
R-086-07	0.008300	-0.141	0.0461	-0.0410	0.110
R-090-07	0.002600	0.354	0.5560	0.1054	0.611
R-091-07	0.003200	-0.226	0.6908	-0.1564	0.938
Bor 4T-1	0.005300	-0.835	0.7076		
Bor 4T-2	0.003800	-1.034	0.7645		
Bor 4T-3	0.003800	-1.192	0.6904		
Ove-For T	0.420000	0.241	0.7450		
Gri-For T	1.400000	-1.136	0.7829		
Tys A1 U	0.000600	-0.250	0.5765		

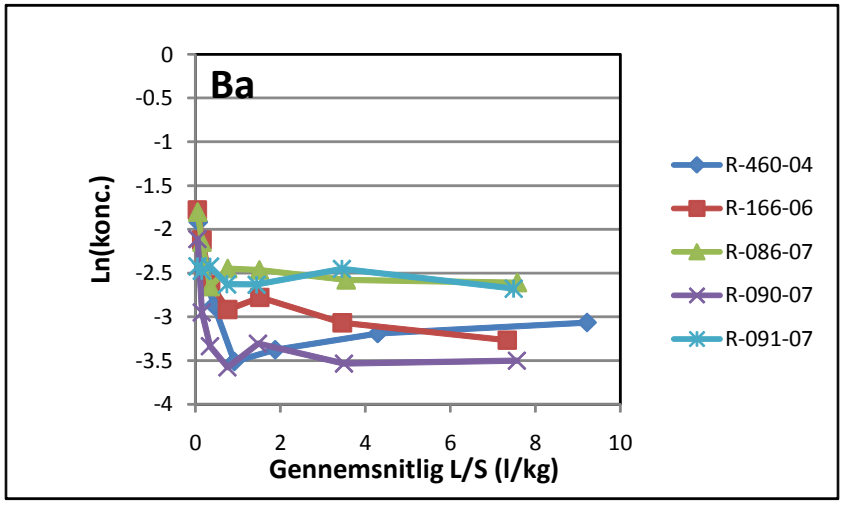
	N = 11	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi		-0.393		-0.018
Standardafv.		0.557		0.108



Ba

			L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**		**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.147000	0.712	0.6360		0.0571	0.117
R-166-06	0.169000	0.595	0.5514		0.1470	0.544
R-086-07	0.165000	0.304	0.2885		0.0566	0.255
R-090-07	0.121000	0.589	0.3563		0.0890	0.221
R-091-07	0.088700	0.160	0.7462		0.0227	0.310
Bor 4T-1						
Bor 4T-2						
Bor 4T-3						
Ove-For T						
Gri-For T						
Tys A1 U						

	N = 5	**Kappa 2**	**N = 5**	**Kappa 10**
Sum				
Middelværdi (kg/l)		0.472		0.074
Standardafv. (kg/l)		0.230		0.047

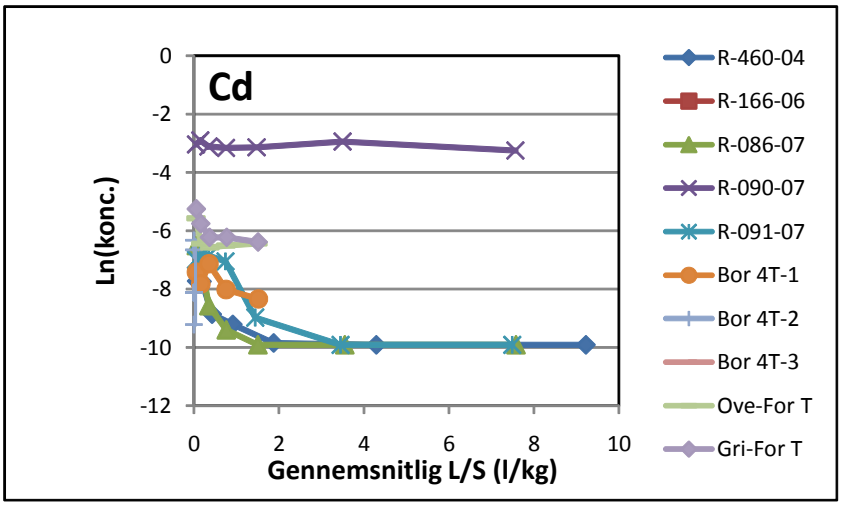


Cd

		L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.000446	1.168	0.8471	0.198075	0.463
R-086-07	0.001500	2.233	0.7933	0.3268	0.384
R-090-07	0.048300	0.115	0.4113	0.0213	0.223
R-091-07	0.000919	1.448	0.8105	0.4509	0.705
Bor 4T-1	0.000600	0.622	0.5976		
Bor 4T-2	0.001800	1.270	0.3967		
Ove-For T	0.003800	0.315	0.2004		
Gri-For T	0.005300	0.608	0.5947		

	N = 8	**Kappa 2**	**N = 4**	**Kappa 10**
Sum				
Middelværdi		0.972		0.249
Standardafv.		0.693		0.184

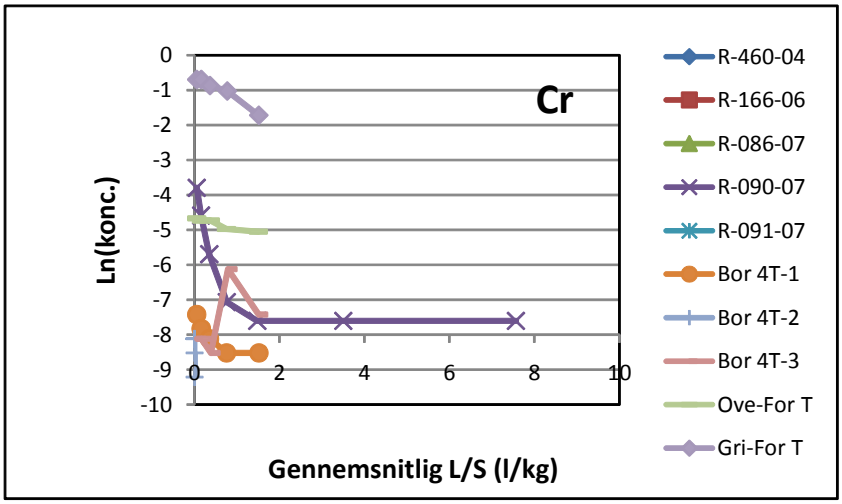
Uden R-090-07	**N = 7**	**Kappa 2**		**Kappa 10**
Sum			**N = 3**	
Middelværdi		1.09		0.325
Standardafv.		0.65		0.126



Cr

			L/S=0-2 l/kg	L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-090-07	0.023	2.548	0.8467	0.3694	0.402
Bor 4T-1	0.00060	0.663	0.6978		
Bor 4T-2	0.00030	0.431	0.2798		
Bor 4T-3	0.00030	-0.819	0.2605		
Ove-For T	0.0094	0.276	0.8817		
Gri-For T	0.50	0.706	0.9714		

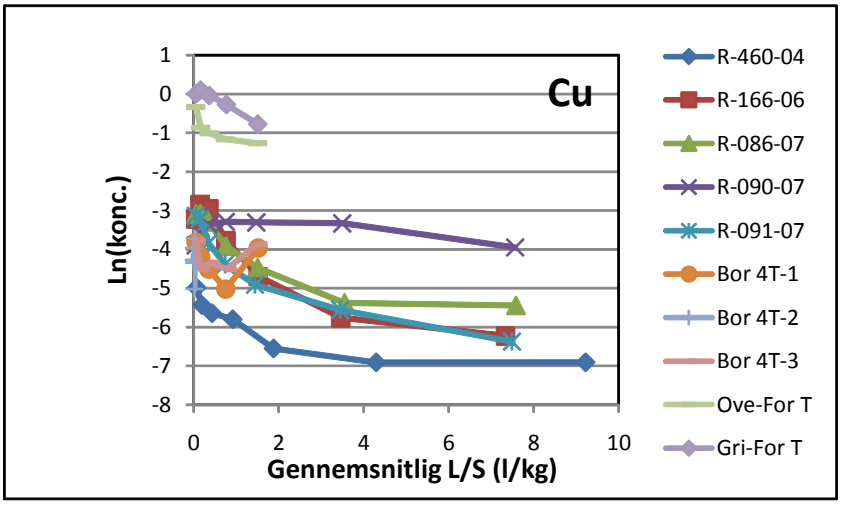
	N = 6	**Kappa 2**	**N =1**	**Kappa 10**
Sum				
Middelværdi		0.634		0.369
Standardafv.		1.091		



Cu

Jord	C0 (mg/l)	Kappa (kg/l)	L/S=0-2 l/kg R^2	Kappa (kg/l)	L/S=0-10 l/kg R^2
R-460-04	0.0068	0.750	0.9270	0.1830	0.648
R-166-06	0.040	1.207	0.8982	0.4693	0.823
R-086-07	0.045	1.017	0.9768	0.3250	0.756
R-090-07	0.020	-0.313	0.5029	0.0428	0.169
R-091-07	0.043	1.294	0.9289	0.4056	0.826
Bor 4T-1	0.022	0.043	0.0028		
Bor 4T-2	0.019	-0.149	0.0322		
Bor 4T-3	0.023	-0.131	0.0469		
Ove-For T	0.71	0.492	0.6229		
Gri-For T	1.0	0.582	0.9646		

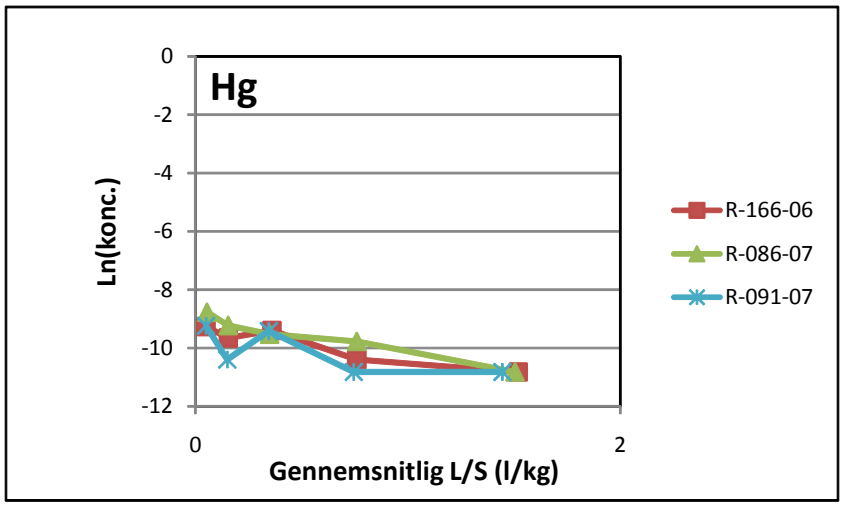
	N = 10	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi		0.479		0.285
Standardafv.		0.592		0.173



Hg

			L/S=0-2 l/kg	L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-166-06	0.000094	1.053	0.8790	0.1840	0.481
R-086-07	0.00015	1.265	0.9584	0.2274	0.536
R-091-07	0.000097	0.958	0.5096	0.1090	0.189

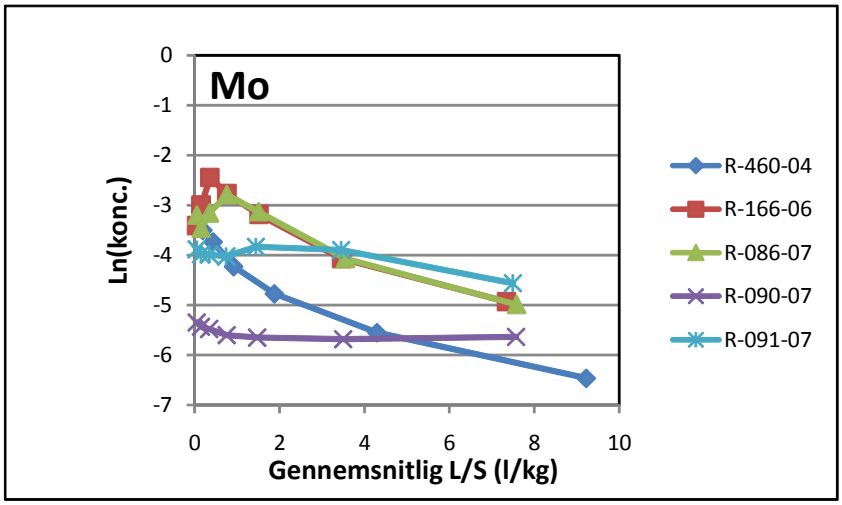
	N = 3	Kappa 2	N = 3	Kappa 10
Sum				
Middelværdi (kg/l)		1.092		0.173
Standardafv. (kg/l)		0.157		0.060



Mo

		L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.034600	0.778	0.979	0.3295	0.909
R-166-06	0.033100	0.027	0.002	0.2914	0.834
R-086-07	0.040800	-0.175	0.184	0.2536	0.861
R-090-07	0.004760	0.198	0.864	0.0285	0.378
R-091-07	0.020600	-0.060	0.183	0.0740	0.668
Bor 4T-1					
Bor 4T-2					
Bor 4T-3					
Ove-For T					
Gri-For T					
Tys A1 U					

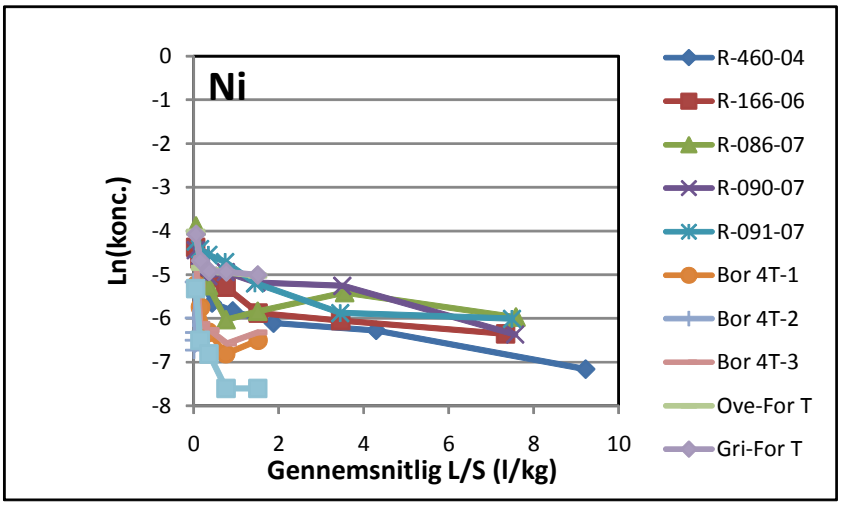
	N = 5	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi (kg/l)		0.154		0.195
Standardafv. (kg/l)		0.375		0.135



Ni

			L/S=0-2 l/kg	L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.010900	0.724	0.7103	0.2214	0.760
R-166-06	0.012600	0.944	0.9330	0.2335	0.699
R-086-07	0.020600	1.191	0.6298	0.1512	0.275
R-090-07	0.011800	0.337	0.4998	0.2035	0.888
R-091-07	0.014400	0.633	0.9798	0.2354	0.805
Bor 4T-1	0.005300	0.749	0.4991		
Bor 4T-2	0.005700	0.564	0.2987		
Bor 4T-3	0.009900	0.746	0.3183		
Ove-For T	0.018000	0.439	0.3910		
Gri-For T	0.017000	0.443	0.4692		
Tys A1 U	0.004900	1.283	0.6453		

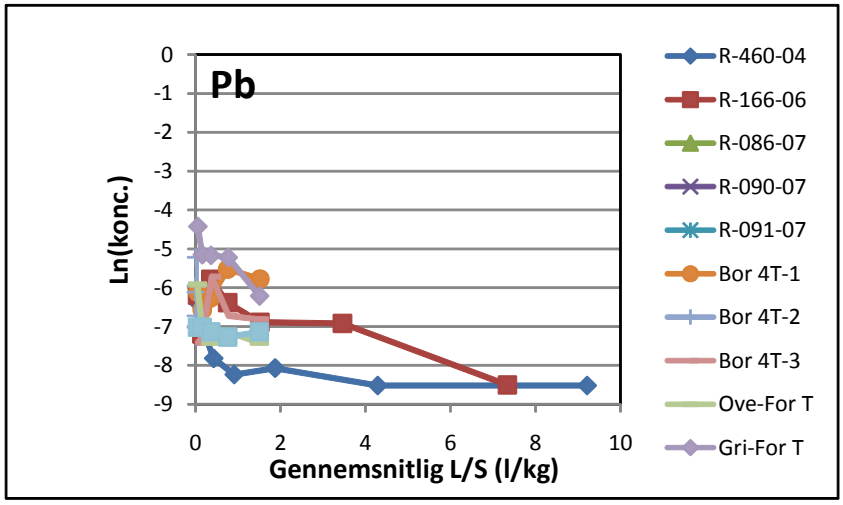
	N = 11	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi		0.732		0.209
Standardafv.		0.304		0.035



Pb

		L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.001670	0.763	0.5356	0.1536	0.419
R-166-06	0.002060	0.263	0.0788	0.2815	0.720
Bor 4T-1	0.002200	-0.464	0.4464		
Bor 4T-2	0.002600	-0.496	0.1739		
Bor 4T-3	0.000600	-0.221	0.0379		
Ove-For T	0.002700	0.613	0.3296		
Gri-For T	0.012000	0.990	0.8408		
Tys A1 U	0.000900	0.097	0.3004		

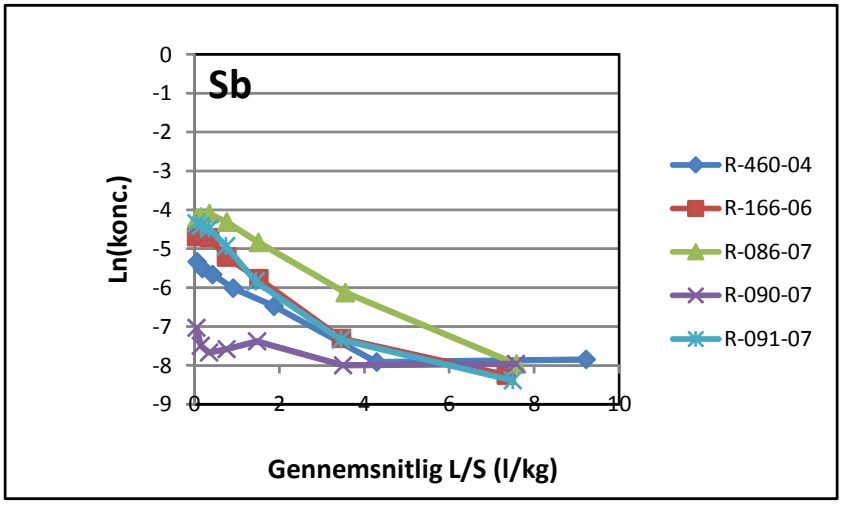
	N = 8	Kappa 2	N = 2	Kappa 10
Sum				
Middelværdi		0.193		0.218
Standardafv.		0.564		0.090



Sb

			L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**		**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.004840	0.613	0.9811		0.2872	0.784
R-166-06	0.009180	0.805	0.9685		0.5228	0.934
R-086-07	0.014700	0.458	0.8505		0.5252	0.991
R-090-07	0.000886	0.083	0.0375		0.0876	0.509
R-091-07	0.013000	1.091	0.9806		0.5680	0.919
Bor 4T-1						
Bor 4T-2						
Bor 4T-3						
Ove-For T						
Gri-For T						
Tys A1 U						

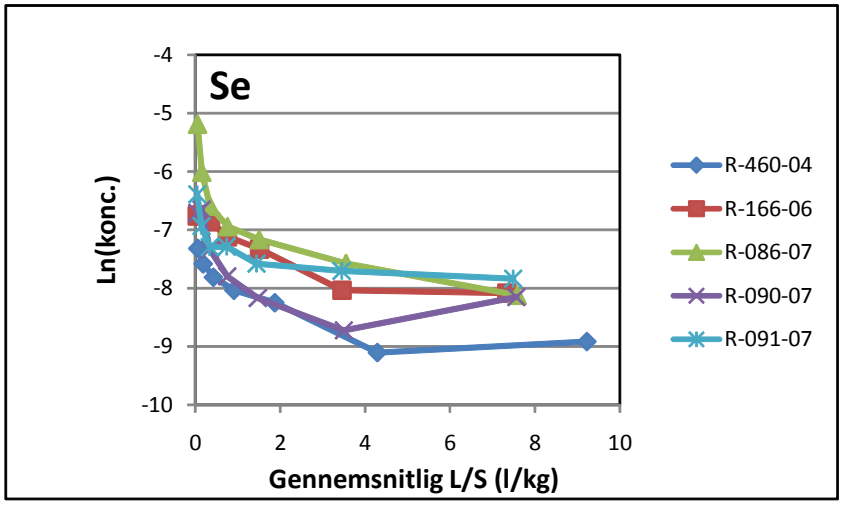
	N = 5	**Kappa 2**		**N = 5**	**Kappa 10**
Sum					
Middelværdi (kg/l)		0.610			0.398
Standardafv. (kg/l)		0.378			0.206



Se

			L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**		**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.000663	0.459	0.8469		0.1649	0.685
R-166-06	0.001160	0.418	0.9651		0.1957	0.816
R-086-07	0.005580	1.120	0.6894		0.2907	0.663
R-090-07	0.001220	1.075	0.8847		0.1812	0.403
R-091-07	0.001670	0.652	0.6649		0.1323	0.522
Bor 4T-1						
Bor 4T-2						
Bor 4T-3						
Ove-For T						
Gri-For T						
Tys A1 U						

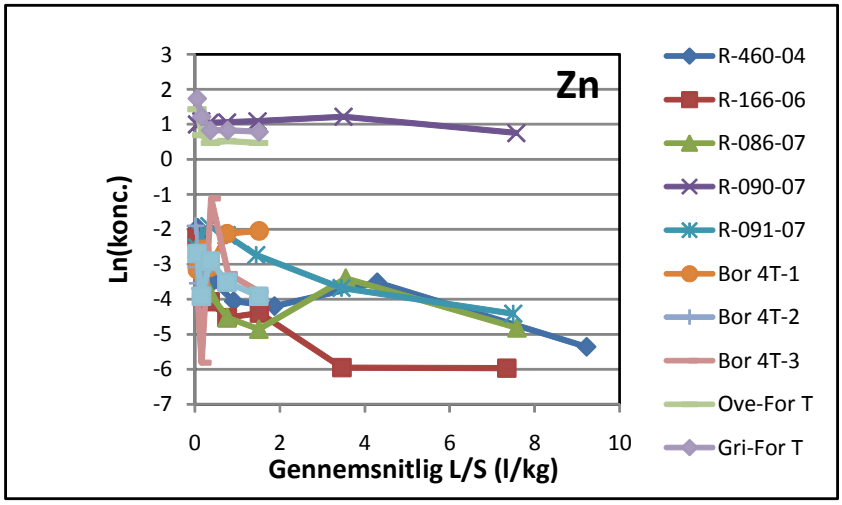
	N = 5	**Kappa 2**		**N = 5**	**Kappa 10**
Sum					
Middelværdi (kg/l)		0.745			0.193
Standardafv. (kg/l)		0.334			0.059



Zn

			L/S=0-2 l/kg	L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	0.142000	1.024	0.6740	0.2458	0.590
R-166-06	0.108000	1.265	0.5748	0.4222	0.646
R-086-07	0.077800	1.525	0.8177	0.1695	0.251
R-090-07	2.720000	-0.038	0.3128	0.0310	0.354
R-091-07	0.080500	0.293	0.2623	0.3203	0.899
Bor 4T-1	0.043000	-0.702	0.6463		
Bor 4T-2	0.150000	0.561	0.2175		
Bor 4T-3	0.024000	-0.293	0.0106		
Ove-For T	4.200000	0.421	0.3614		
Gri-For T	5.700000	0.480	0.4861		
Tys A1 U	0.068000	0.545	0.3214		

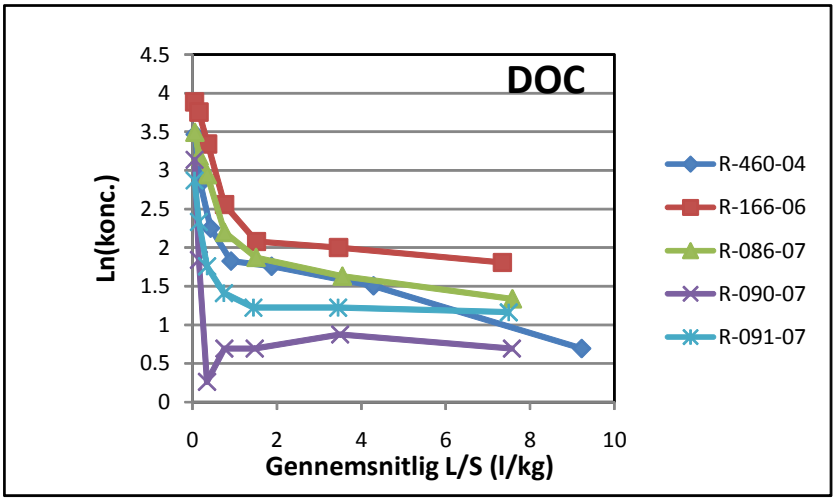
	N = 11	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi		0.462		0.238
Standardafv.		0.657		0.149



DOC

			L/S=0-2 l/kg		L/S=0-10 l/kg	
Jord	**C0 (mg/l)**	**Kappa (kg/l)**	**R^2**		**Kappa (kg/l)**	**R^2**
R-460-04	32	0.802	0.6674		0.2281	0.704
R-166-06	49	1.267	0.9361		0.2506	0.579
R-086-07	33	1.098	0.9067		0.2454	0.656
R-090-07	23	1.191	0.3500		0.1294	0.128
R-091-07	18	1.029	0.7430		0.1486	0.376
Bor 4T-1						
Bor 4T-2						
Bor 4T-3						
Ove-For T						
Gri-For T						
Tys A1 U						

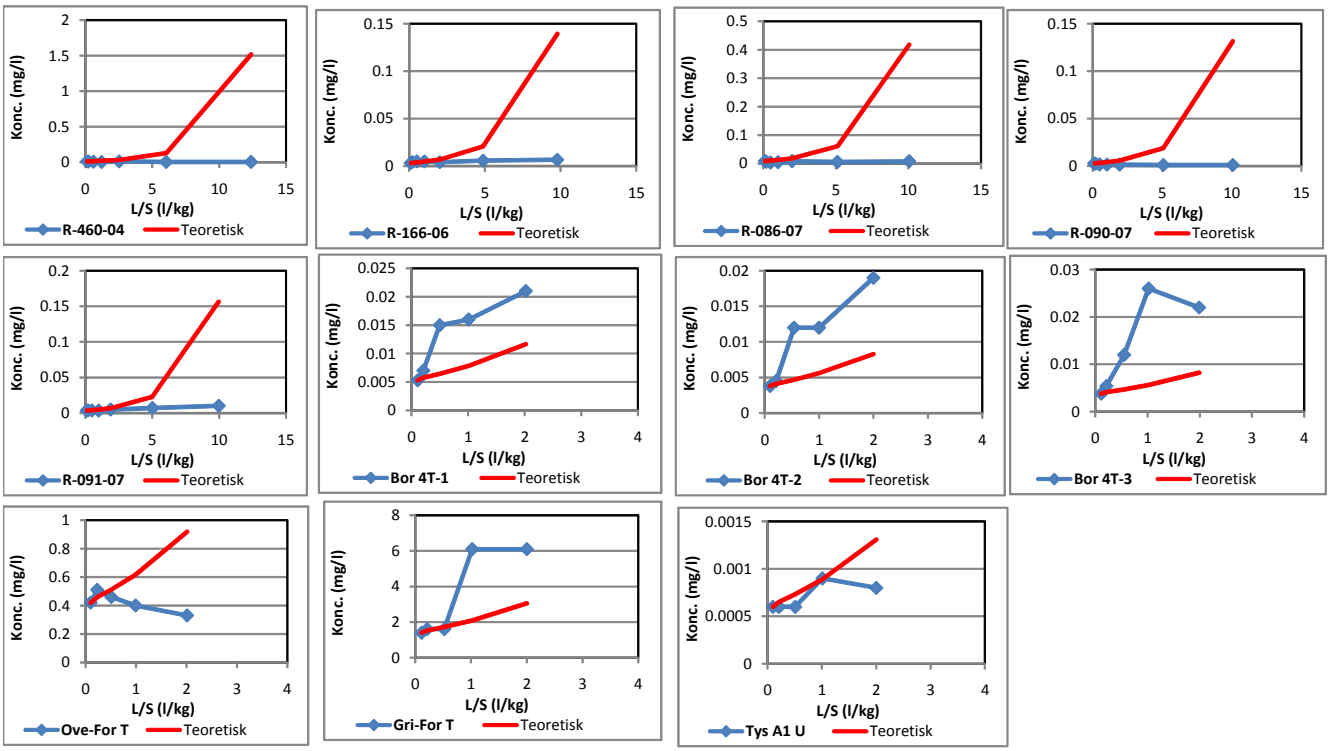
	N = 5	Kappa 2	N = 5	Kappa 10
Sum				
Middelværdi (kg/l)		1.077		0.20
Standardafv. (kg/l)		0.178		0.06



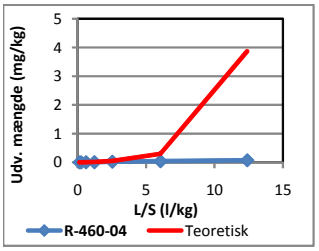
Bilag 3

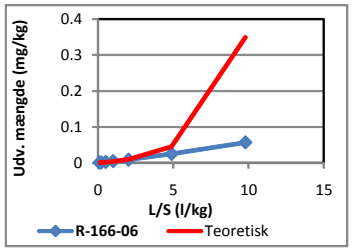
Sammenligning af eksperimentelt fundet udvaskning og teoretisk udvaskning beregnet ved hjælp (L/S = 0-2 l/kg)

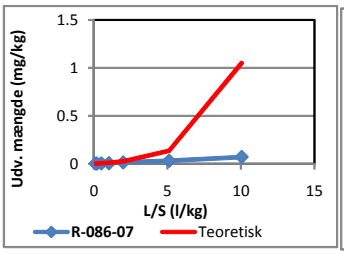
As **Kappa =** **-0.39** **kg/l**

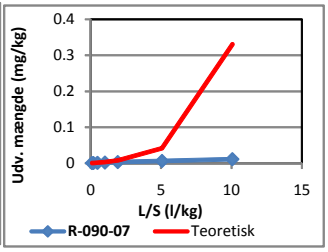


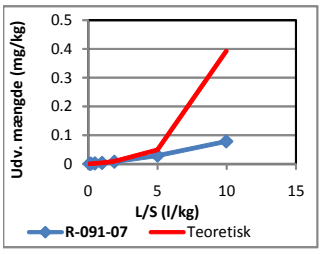
As **Kappa =** **-0.39** **kg/l**

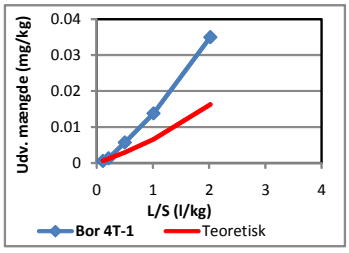


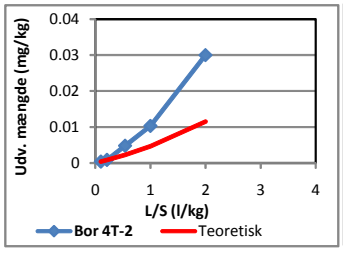


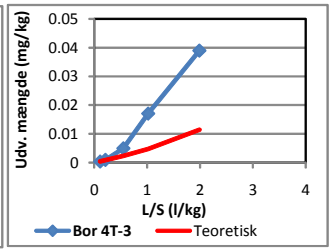


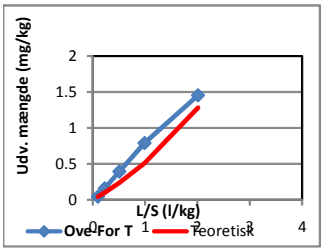


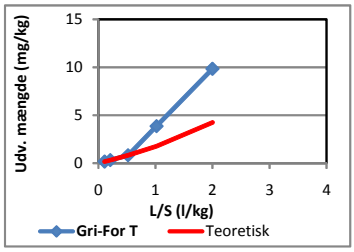


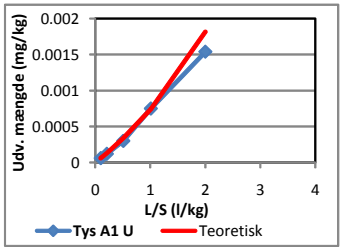




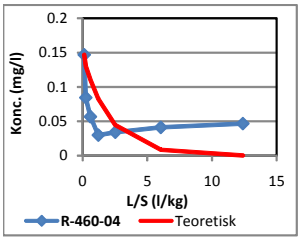


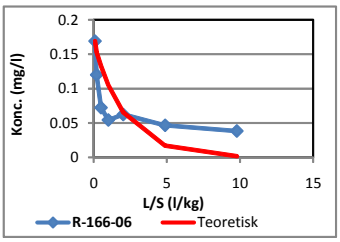


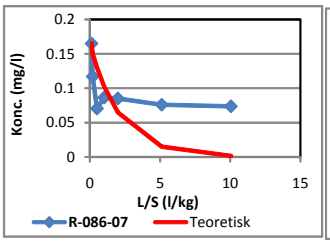


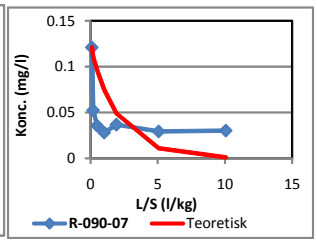


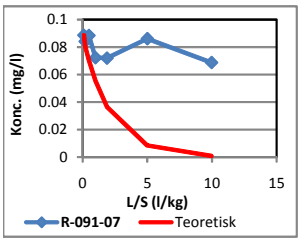
Ba **Kappa =** **0.47** **kg/l**



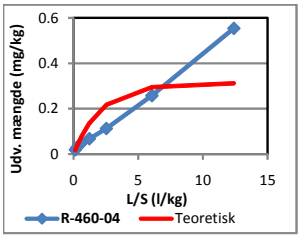


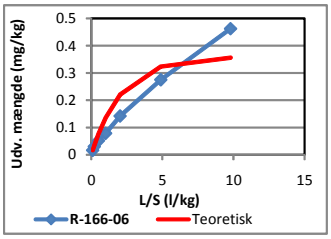


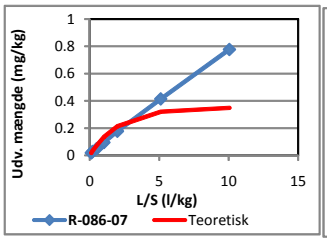


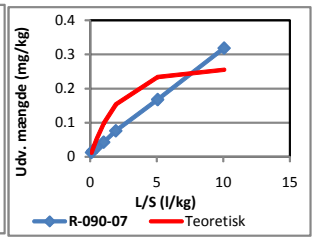


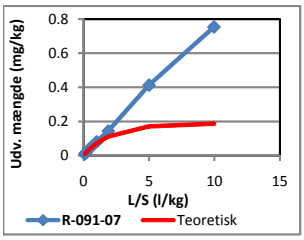
Ba **Kappa =** **0.47** **kg/l**



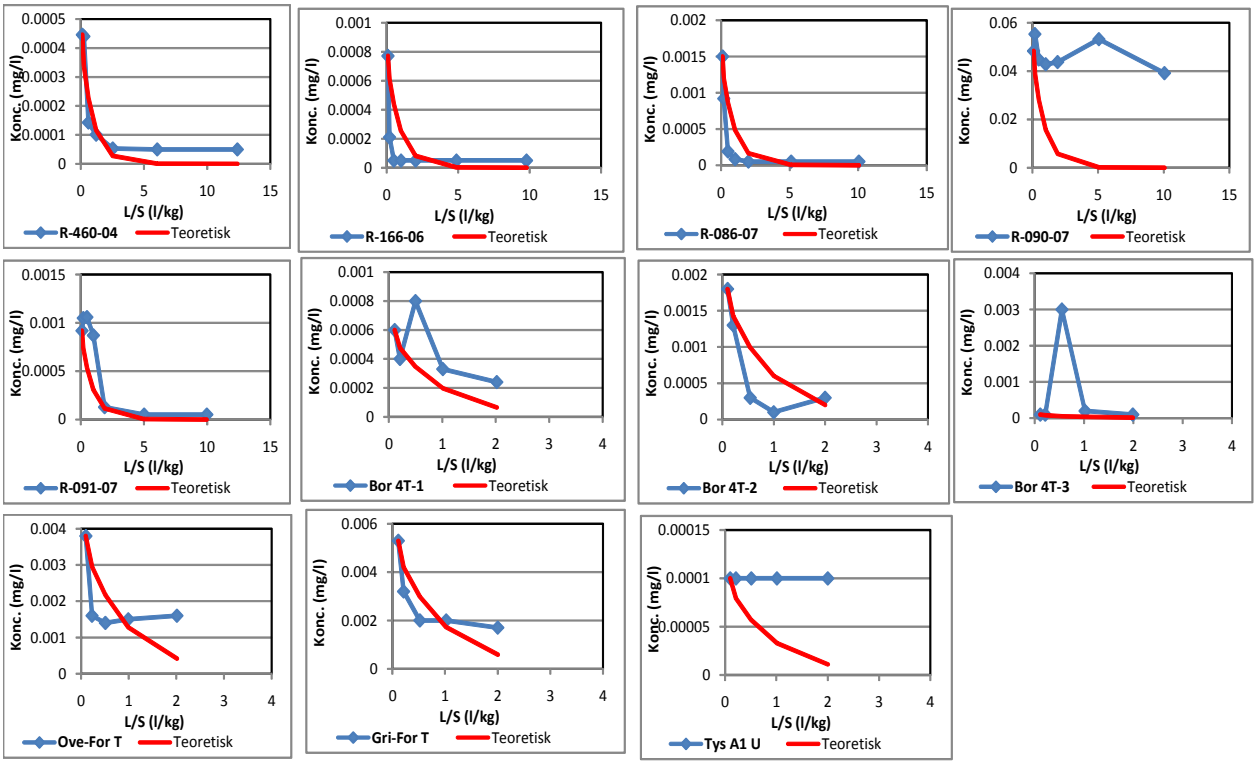




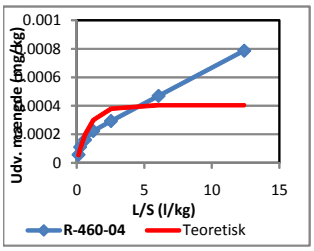


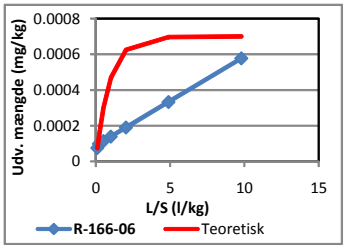


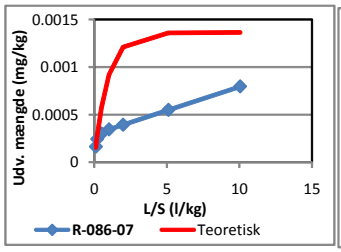
Cd **Kappa =** **1.1** **kg/l**

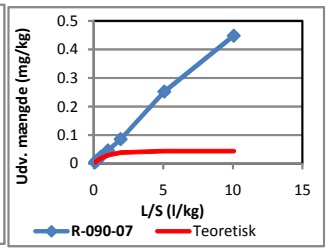


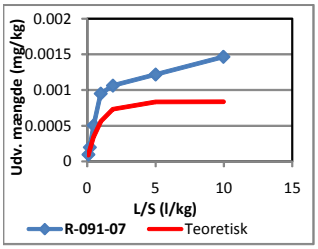
Cd **Kappa =** **1.1** **kg/l**

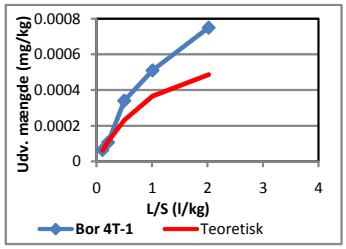


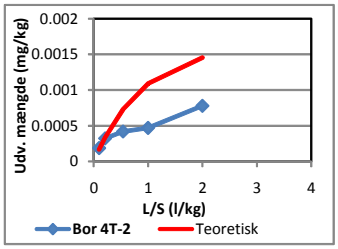


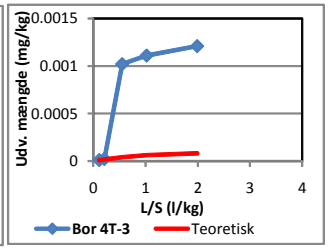


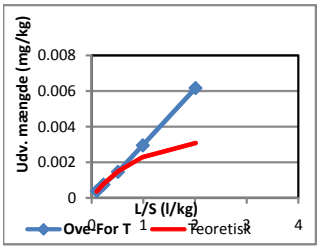


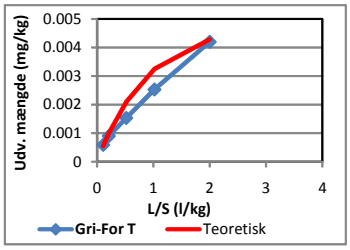


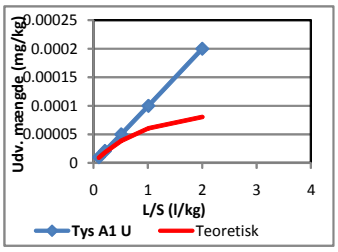




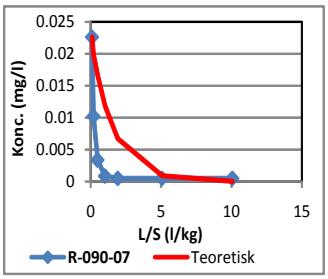


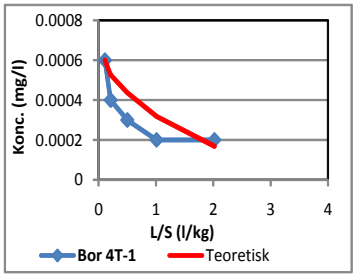


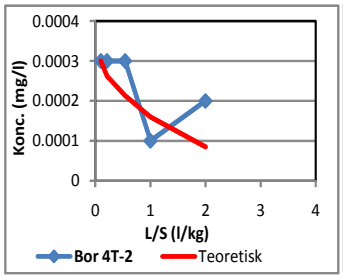


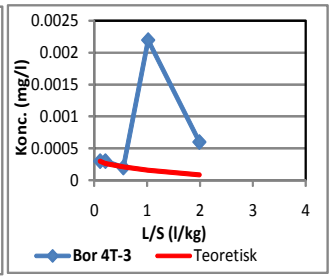


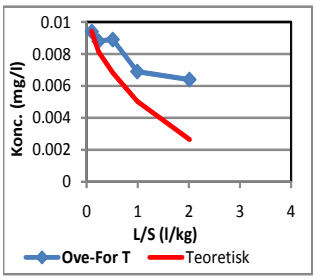
Cr **Kappa =** **0.63** **kg/l**

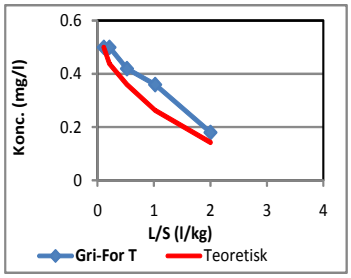




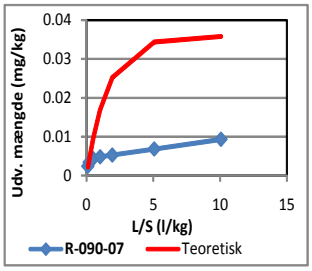


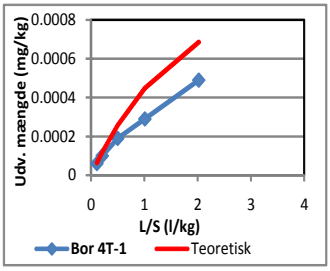


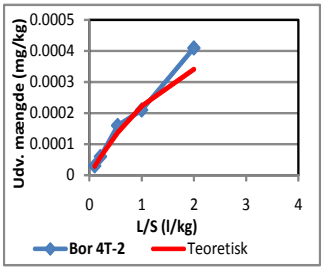


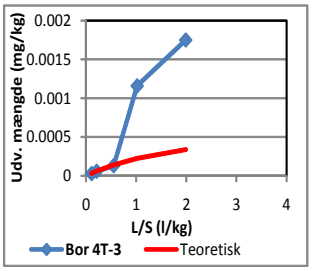


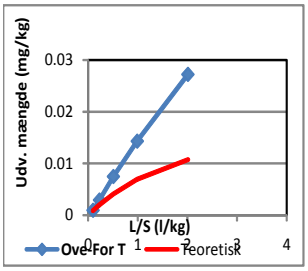
Cr **Kappa =** **0.63** **kg/l**

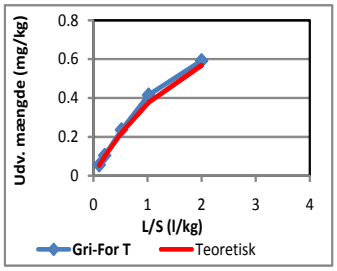




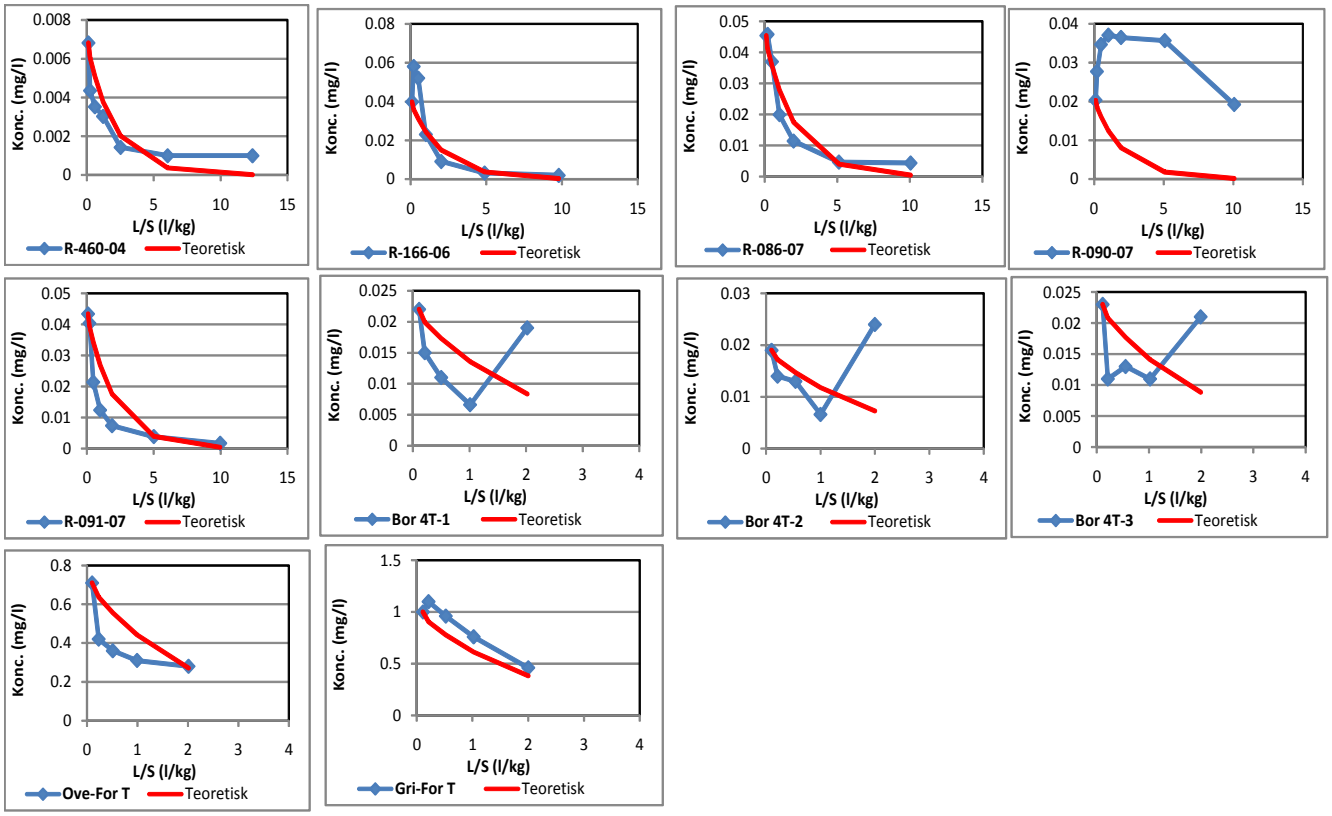




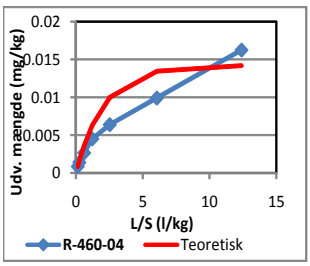


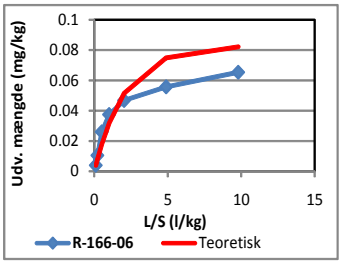


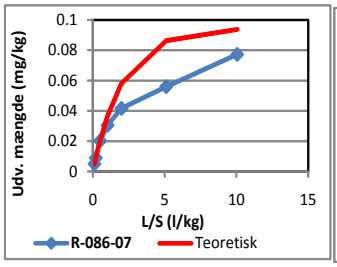
Cu **Kappa =** **0.48** **kg/l**

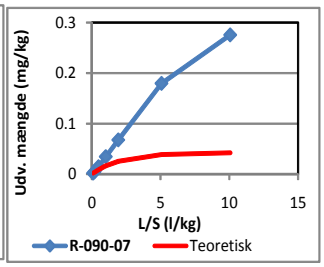


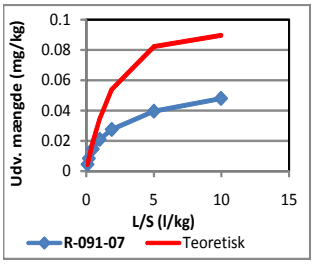
Cu **Kappa =** **0.48** **kg/l**

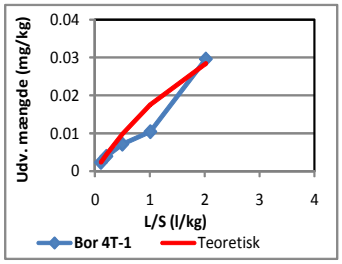


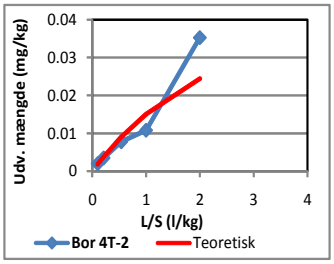


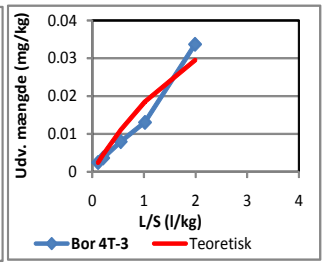


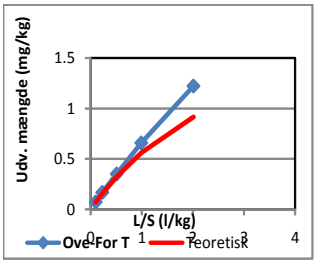


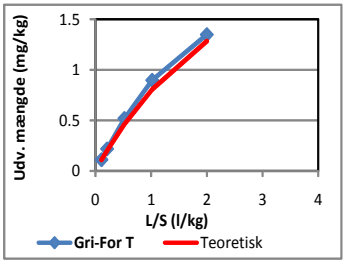




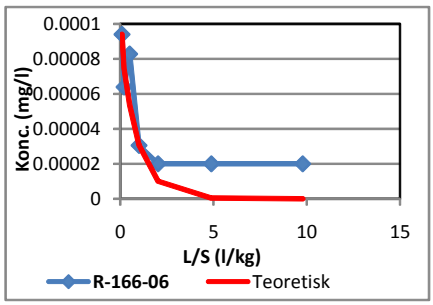


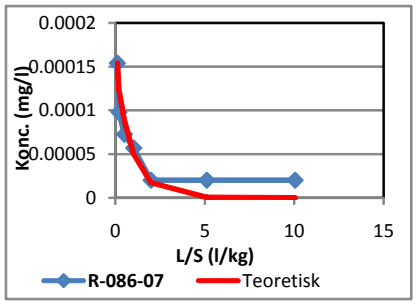


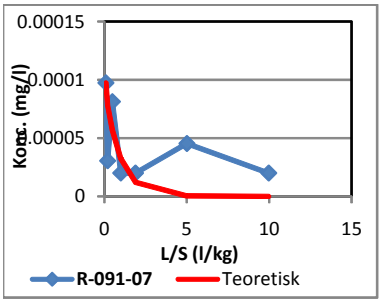




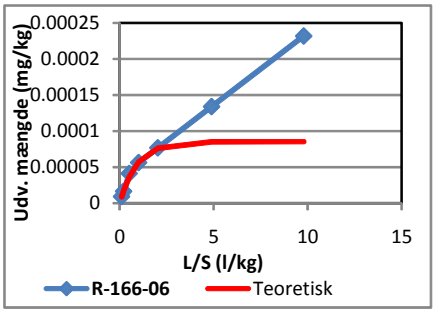
Hg **Kappa =** **1.1** **kg/l**

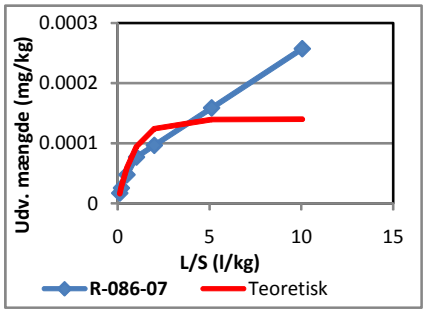


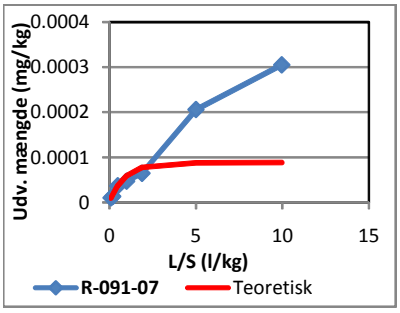




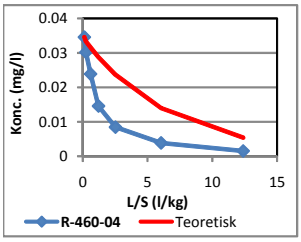
Hg **Kappa =** **1.1** **kg/l**

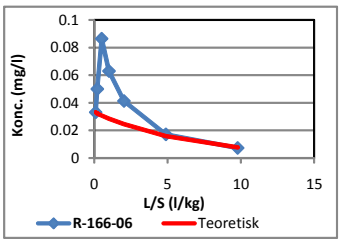


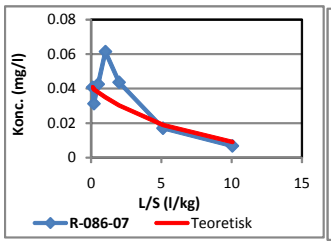


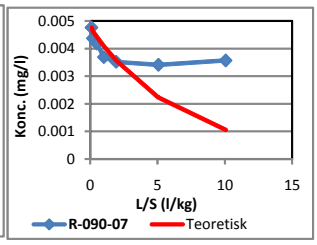


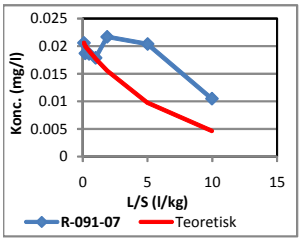
Mo **Kappa =** **0.15** **kg/l**



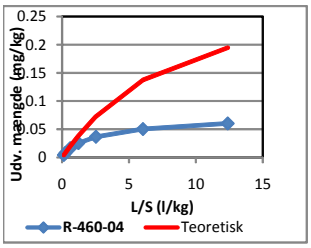


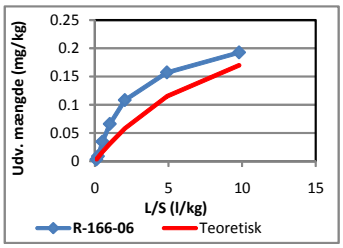


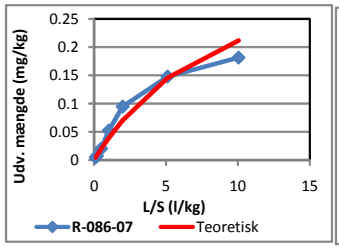


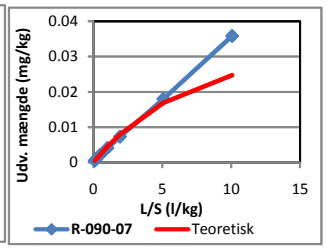


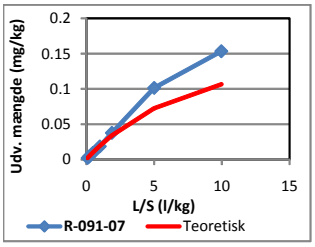
Mo **Kappa =** **0.15** **kg/l**



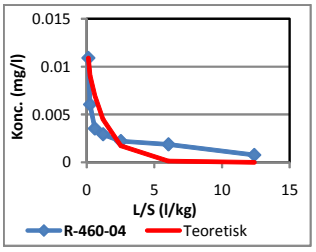


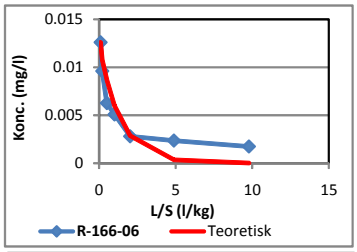


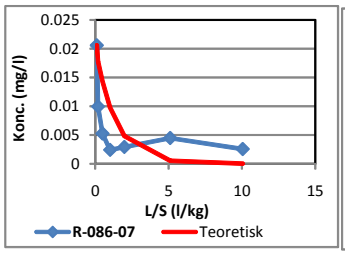


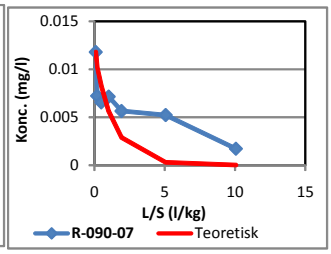


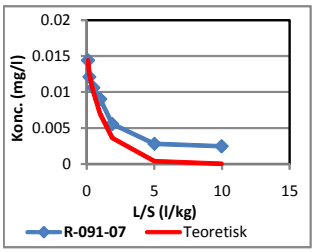
Ni **Kappa =** **0.73** **kg/l**

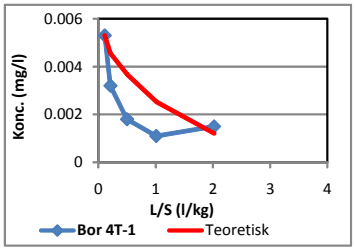


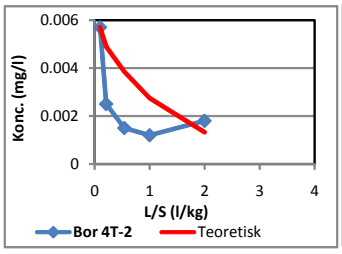


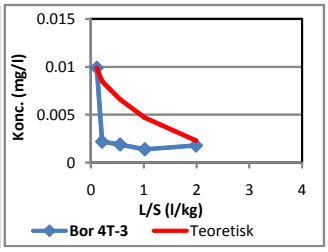


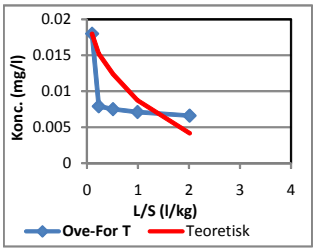


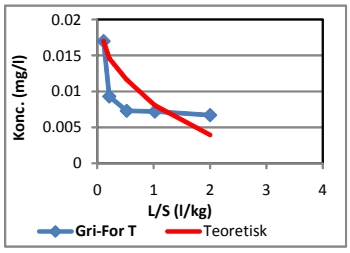


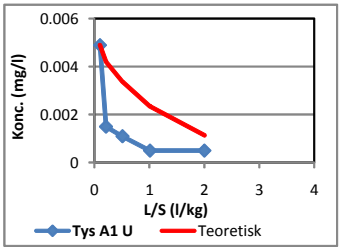




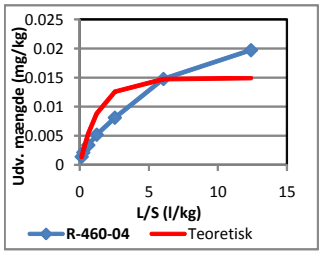


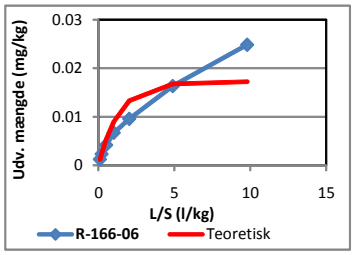


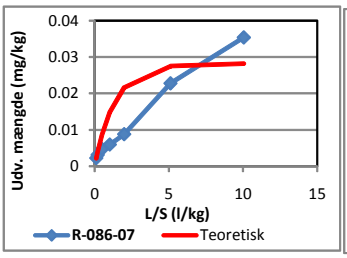


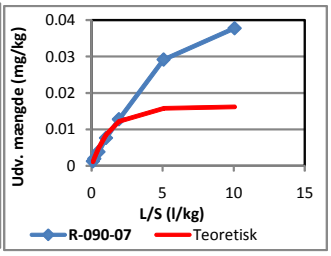


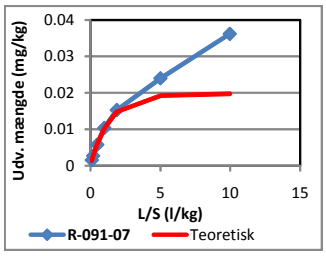
Ni **Kappa =** **0.73** **kg/l**

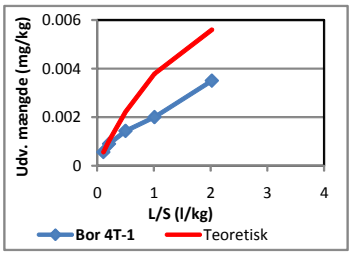


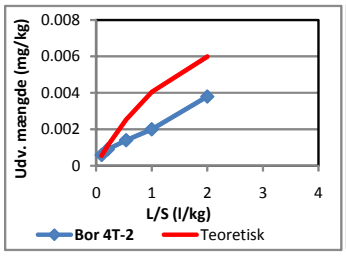


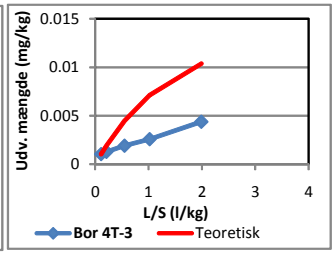


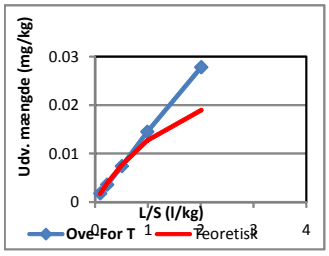


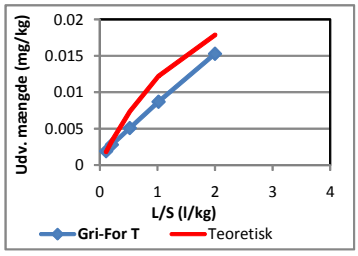


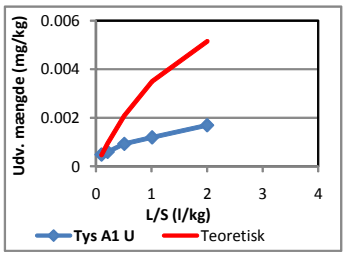




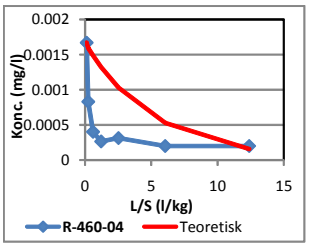


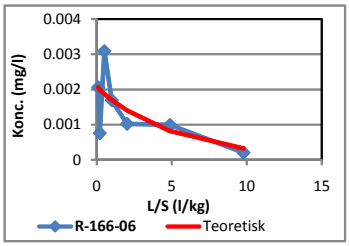


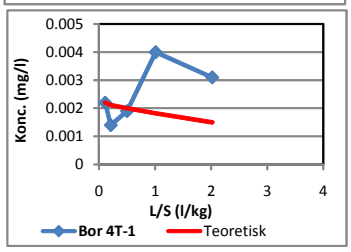


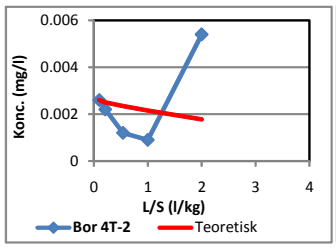


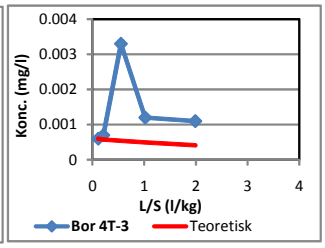
Pb **Kappa =** **0.19** **kg/l**

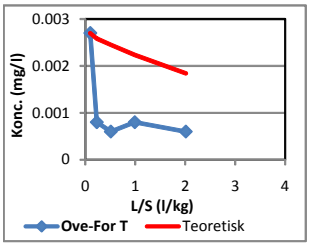


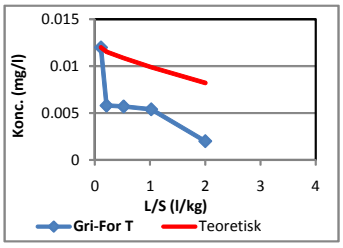


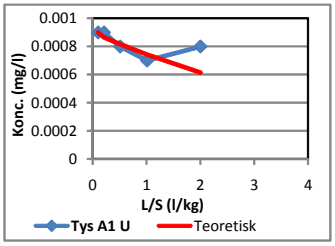




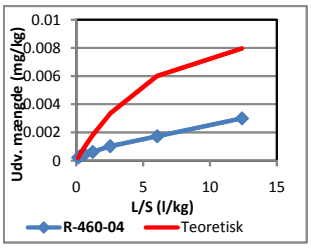


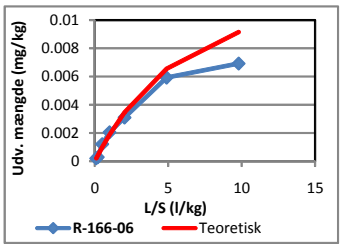


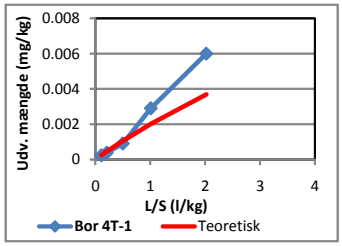


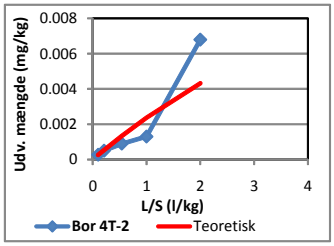


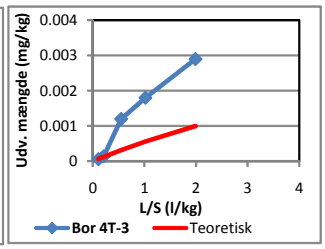
Pb **Kappa =** **0.19** **kg/l**

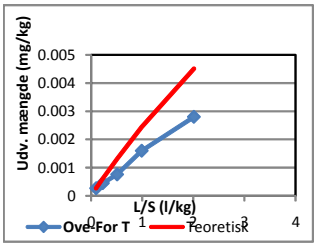


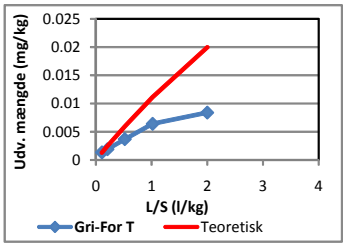


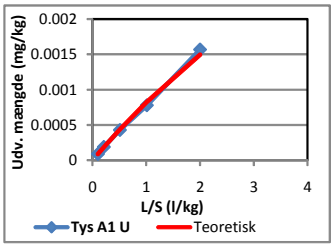




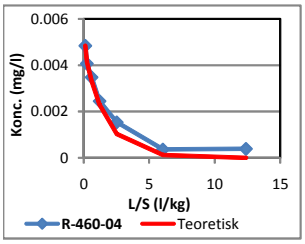


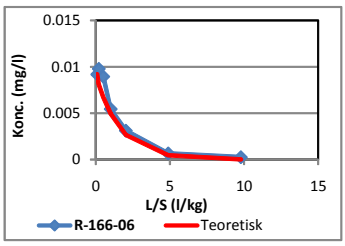


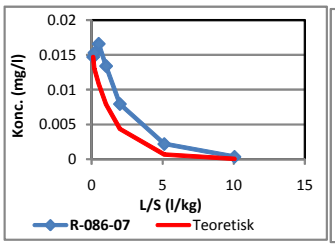


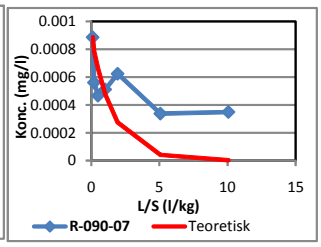


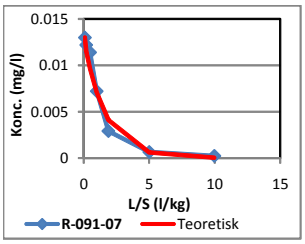
Sb **Kappa =** **0.61** **kg/l**



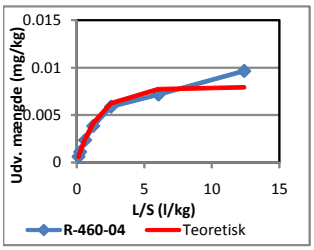


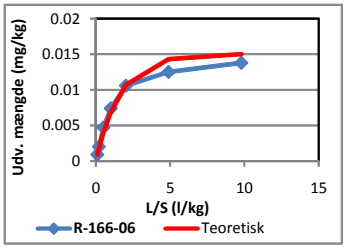


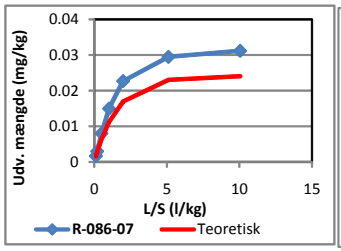


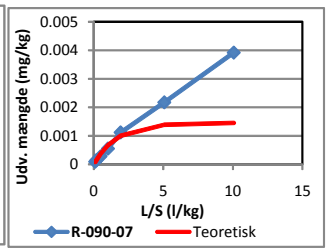


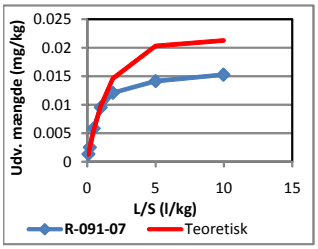
Sb **Kappa =** **0.61** **kg/l**



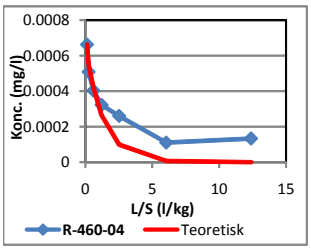


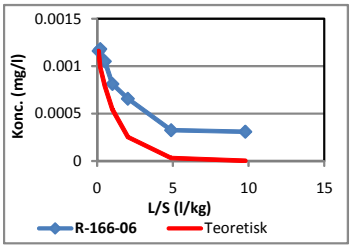


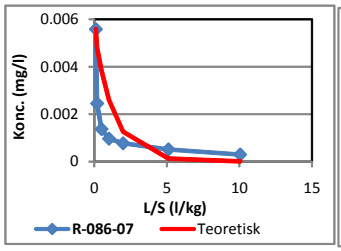


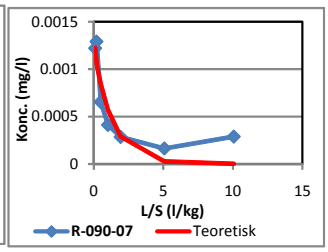


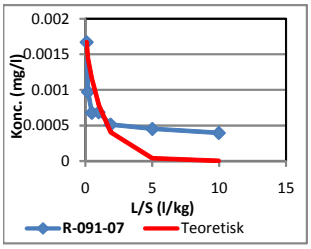
Se **Kappa =** **0.75** **kg/l**



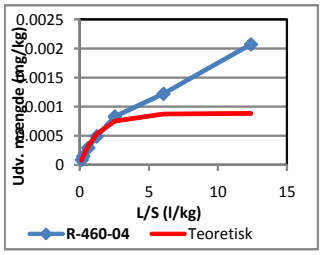


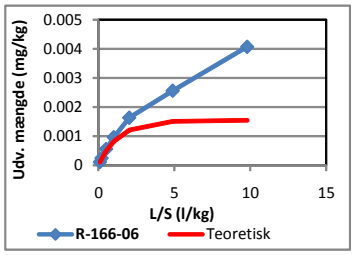


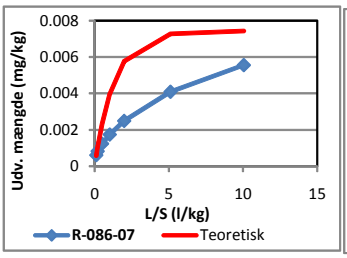


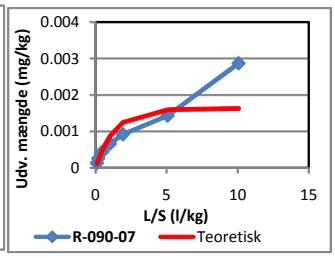


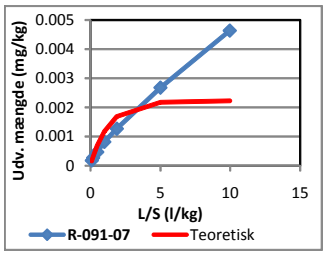
Se **Kappa =** **0.75** **kg/l**



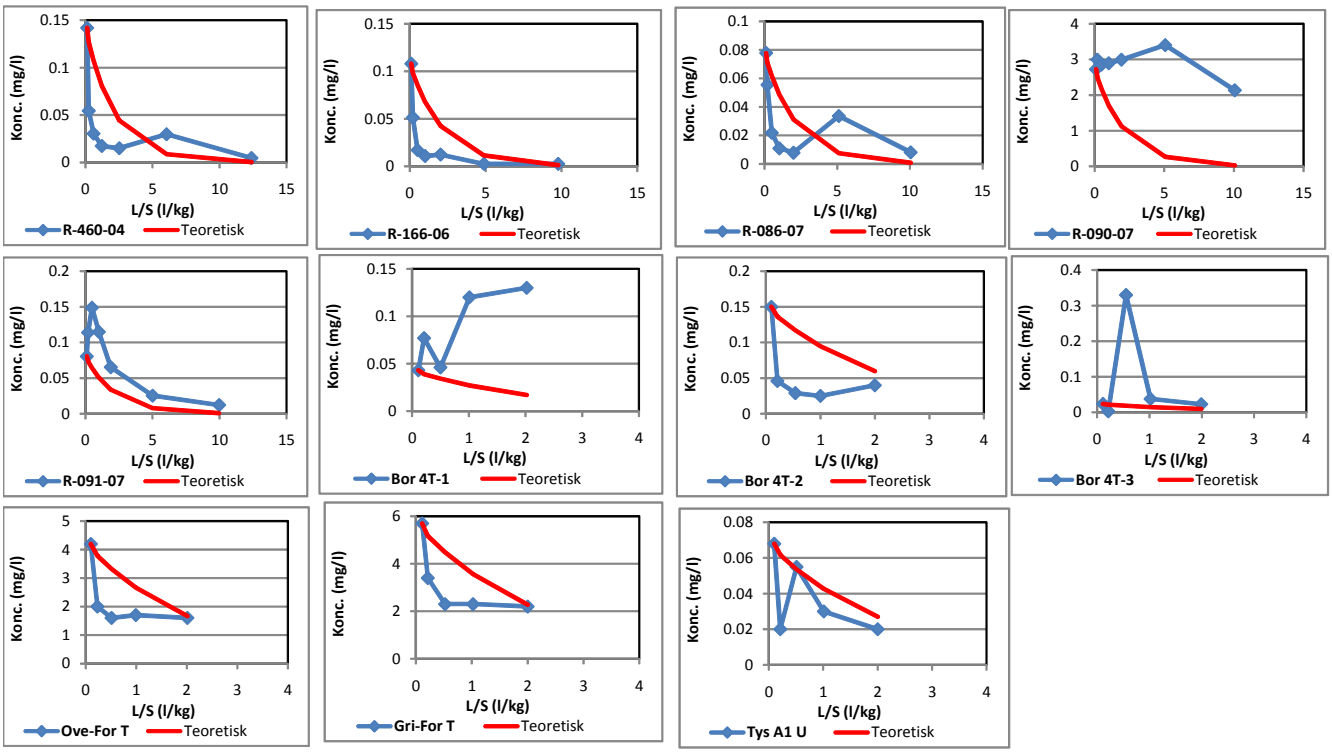




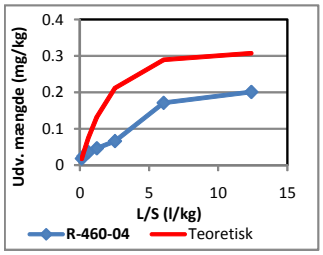


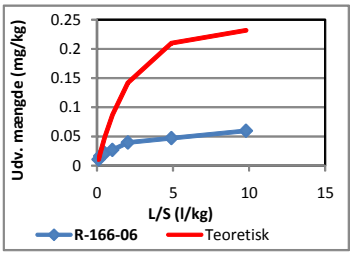


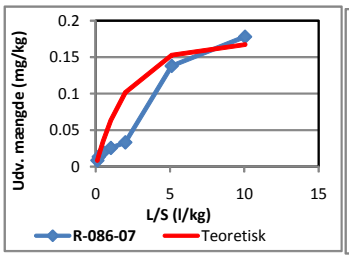
Zn **Kappa =** **0.46** **kg/l**

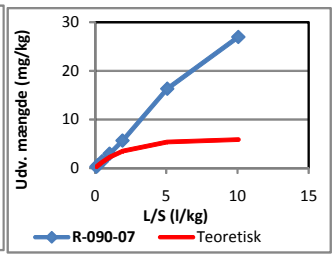


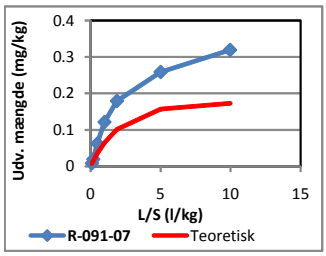
Zn **Kappa =** **0.46** **kg/l**

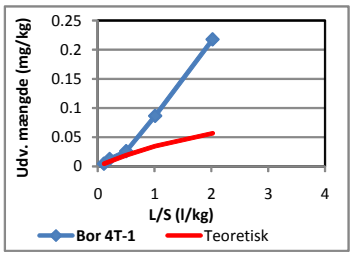


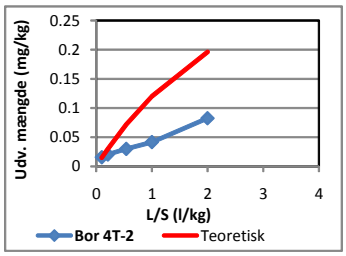


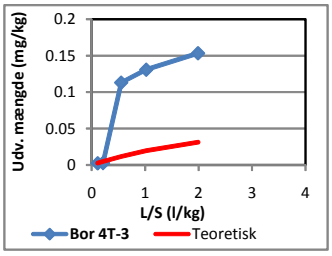


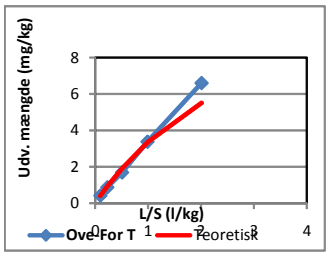


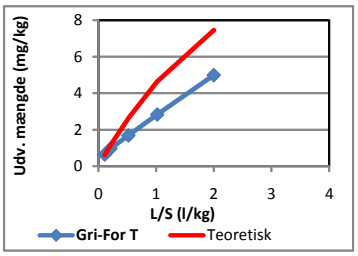


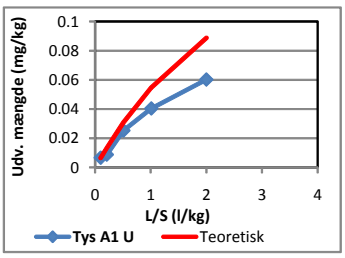












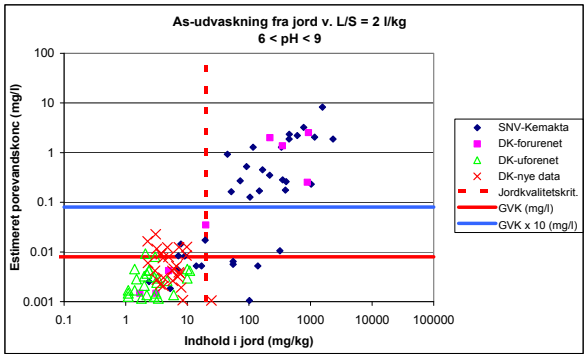
BILAG C

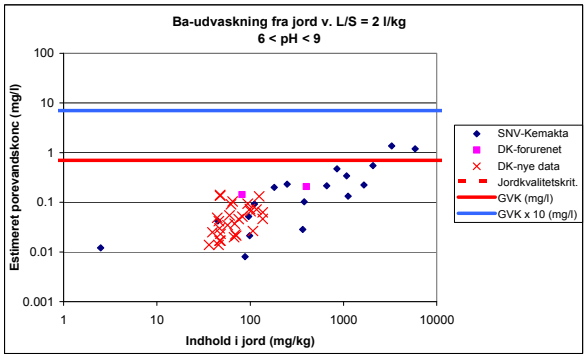
Sammenligning mellem beregnede porevandskoncentrationer og observeredeporevandskoncentrationer for 6 forskellige jordprøver

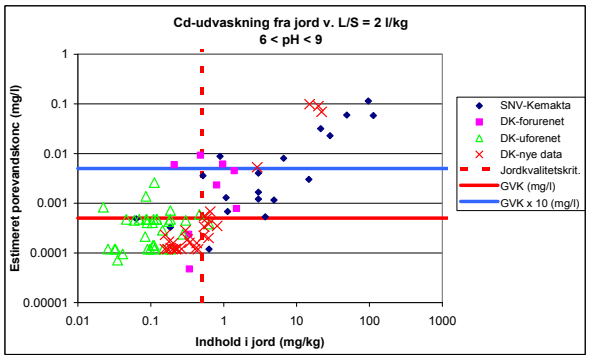
Jordprøve-ID	Komponent	X	P	κ	M_X	Beregnet C_P	Observeret C_P	Ber/Obs
		l/kg	l/kg	kg/l	mg/kg	mg/l	mg/l	
R-166-06	As	2.03	0.21	0.03	0.0087	0.0045	0.0018	2.51
Gri-For T	As	2.00	0.21	0.03	9.8000	5.1703	1.48	3.50
Ove-For-T	As	2.01	0.23	0.03	0.8000	0.4198	0.4783	0.88
Bor 4T - 1	As	2.02	0.21	0.03	0.0350	0.0183	0.006	2.96
Tys A1 U	As	2.00	0.21	0.03	0.0015	0.0008	0.0006	1.38
R-460-04	As	2.53	0.25	0.03	0.025	0.0106	0.0112	0.94
R-166-06	Ba	2.03	0.21	0.15	0.14	0.0906	0.002	50
R-460-04	Ba	2.53	0.25	0.15	0.11	0.061	0.12	0.53
R-166-06	Cd	2.03	0.21	0.5	0.00019	0.00023	0.0018	0.129
Gri-For T	Cd	2.00	0.21	0.5	0.0042	0.0051	0.0043	1.20
Ove-For-T	Cd	2.01	0.23	0.5	0.0033	0.0040	0.0026	1.56
Bor 4T - 1	Cd	2.02	0.21	0.5	0.0044	0.0054	0.00052	10.3
R-460-04	Cd	2.53	0.25	0.5	0.00029	0.00036	0.00044	0.81
R-166-06	Cr	2.03	0.21	0.18	0.0013	0.00089	0.0018	0.49
Gri-For T	Cr	2.00	0.21	0.18	0.59	0.41	0.50	0.82
Ove-For-T	Cr	2.01	0.23	0.18	0.014	0.0096	0.0091	1.05
Bor 4T - 1	Cr	2.02	0.21	0.18	0.00049	0.00034	0.00048	0.71
R-166-06	Cu	2.03	0.21	0.28	0.0470	0.0385	0.0018	21
Gri-For T	Cu	2.00	0.21	0.28	1.3000	1.0730	1.05	1.02
Ove-For-T	Cu	2.01	0.23	0.28	0.6600	0.5405	0.5217	1.04
Bor 4T - 1	Cu	2.02	0.21	0.28	0.0300	0.0247	0.019	1.33
Tys A1 U	Cu	2.00	0.21	0.28	0.0011	0.0009	0.0029	0.32
R-460-04	Cu	2.53	0.25	0.28	0.0064	0.0048	0.0056	0.86
R-166-06	Hg	2.03	0.21	0.05	0.000077	4.2E-05	1.8E-03	0.023
R-460-04	Hg	2.53	0.25	0.05	0.00015	6.6E-05	4.4E-04	0.15
R-166-06	Mo	2.03	0.21	0.35	0.11	0.10	0.0018	57
R-460-04	Mo	2.53	0.25	0.35	0.037	0.032	0.032	1.00
R-166-06	Ni	2.03	0.21	0.29	0.0096	0.0080	0.0018	4.4
Gri-For T	Ni	2.00	0.21	0.29	0.0150	0.0126	0.01	0.95
Ove-For-T	Ni	2.01	0.23	0.29	0.0150	0.0125	0.0122	1.03
Bor 4T - 1	Ni	2.02	0.21	0.29	0.0035	0.0029	0.004	0.68
Tys A1 U	Ni	2.00	0.21	0.29	0.0017	0.0014	0.0029	0.50
R-460-04	Ni	2.53	0.25	0.29	0.0081	0.0062	0.0084	0.74
R-166-06	Pb	2.03	0.21	0.27	0.0031	0.0025	0.0018	1.38
Gri-For T	Pb	2.00	0.21	0.27	0.0084	0.0068	0.0090	0.75
Ove-For-T	Pb	2.01	0.23	0.27	0.0015	0.0012	0.0016	0.75
Bor 4T - 1	Pb	2.02	0.21	0.27	0.006	0.0048	0.0018	2.7
Tys A1 U	Pb	2.00	0.21	0.27	0.0016	0.0013	0.00090	1.4
R-460-04	Pb	2.53	0.25	0.27	0.001	0.0007	0.0013	0.57
R-166-06	Sb	2.03	0.21	0.11	0.011	0.0066	0.0018	3.66
R-460-04	Sb	2.53	0.25	0.11	0.0059	0.0030	0.0044	0.68
R-166-06	Se	2.03	0.21	0.38	0.0016	0.0016	0.0018	0.87
R-460-04	Se	2.53	0.25	0.38	0.0017	0.0016	0.0022	0.71
R-166-06	Zn	2.03	0.21	0.28	0.04	0.033	0.002	18
Gri-For T	Zn	2	0.21	0.28	5	4.1	4.6	0.90
Ove-For-T	Zn	2.01	0.23	0.28	3.6	2.9	3.0	1.00
Bor 4T - 1	Zn	2.02	0.21	0.28	0.22	0.18	0.062	2.9
Tys A1 U	Zn	2	0.21	0.28	0.06	0.050	0.042	1.2
R-460-04	Zn	2.53	0.25	0.28	3.3	2.5	4.0	0.62

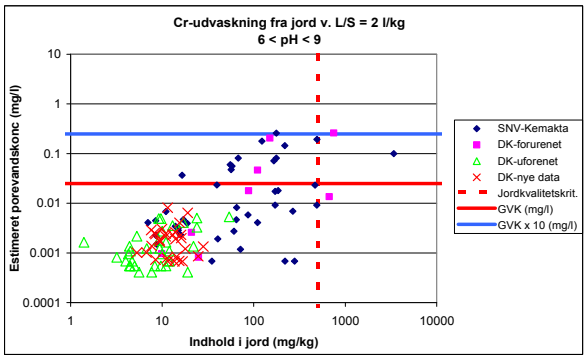
BILAG D

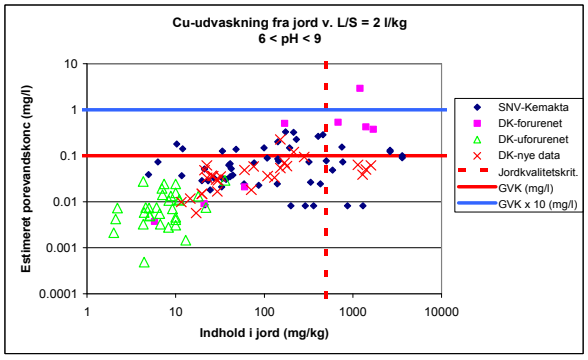
Udvaskningsdata som funktion af faststofindhold
pH værdien i eluat er mellem seks og ni

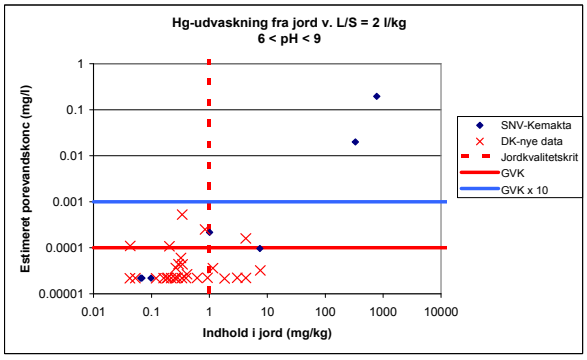

As-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)

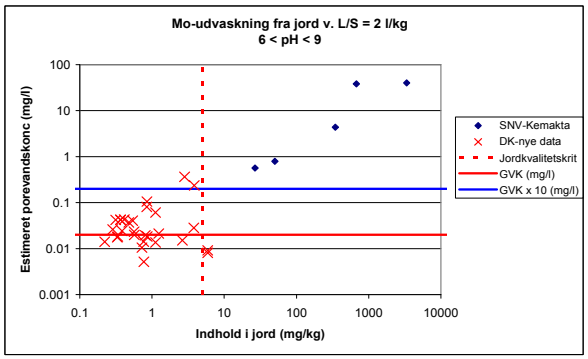

Ba-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)

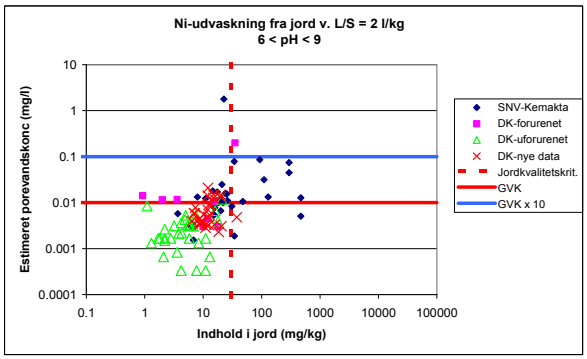

Cd-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)

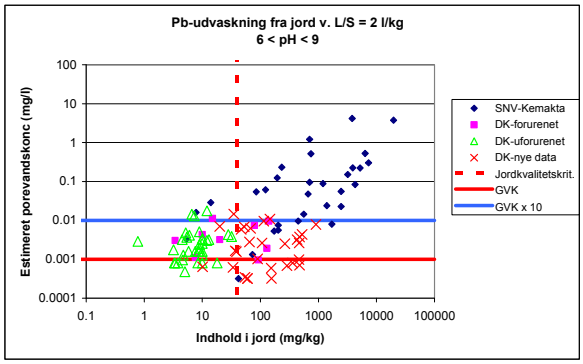

Cr-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)

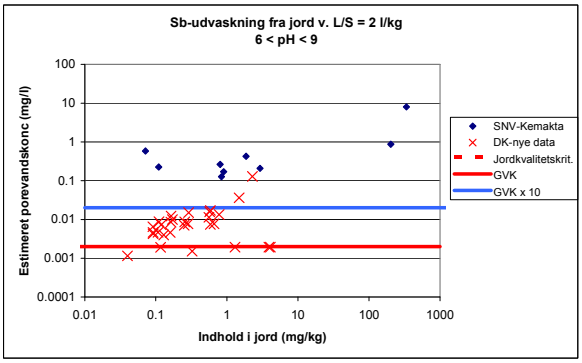

Cu-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)

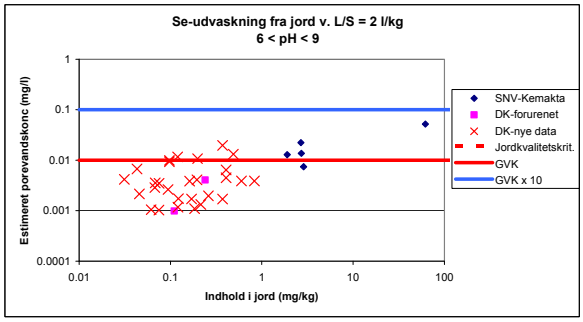

Hg-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-nye data
Jordkvalitetskrit
GVK
GVK x 10

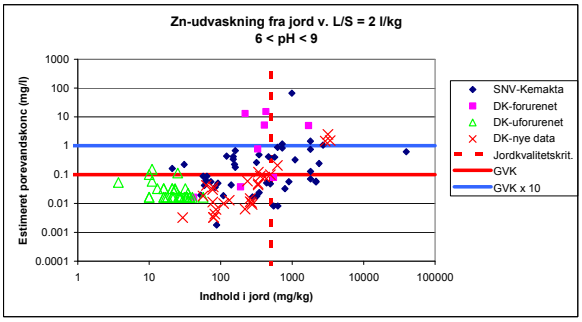

Mo-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-nye data
Jordkvalitetskrit
GVK (mg/l)
GVK x 10 (mg/l)


Ni-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK
GVK x 10


Pb-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK
GVK x 10


Sb-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK
GVK x 10


Se-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK
GVK x 10


Zn-udvaskning fra jord v. L/S = 2 l/kg
6 < pH < 9
Estimeret porevandskonc (mg/l)
Indhold i jord (mg/kg)
SNV-Kemakta
DK-forurenet
DK-uforurenet
DK-nye data
Jordkvalitetskrit.
GVK
GVK x 10

BILAG E

Betydningen af opløst organisk stof for udvaskning af Pb

Baggrund

I forbindelse med projektet "Håndtering af jord – konsekvensvurdering" som DHI i 2007/2008 har gennemført for Miljøstyrelsen er der gennemført en række vurderinger, som belyser mulighederne for at opstille grænseværdier for kategori 1 og 2 jord baseret på en analyse af faststofindholdet i jord. Vurderingerne er gennemført på baggrund af en risikovurdering i forhold til grundvand.

Udkast til slutrapport blev afleveret i april 2008. Miljøstyrelsen har bedt Thomas Højlund Christensen fra DTU – Miljø om at lave ekstern kvalitetskontrol på første udkast til rapport for projektet "Håndtering af lettere forurenet jord – konsekvensvurdering". I forbindelse med den eksterne kvalitetskontrol blev der d.11. juni 2008 afholdt et møde mellem Ulla Højsholt og Irene Edelgaard fra Miljøstyrelsen, Thomas Højlund Christensen fra DTU samt Ole Hjelmar og Jette Bjerre Hansen, DHI.

Foranledet af Thomas Christensen blev det på mødet aftalt, at DHI skulle foretage en vurdering af, om der på baggrund af de eksisterende erfaringsdata kunne påvises en sammenhæng mellem udvaskningen af opløst organisk stof (DOC) og bly (Pb).

Formål

Udvaskningen af Pb fra jord har på baggrund af de indsamlede data vist sig at være problematisk i forhold til at kunne fastsætte en grænseværdi baseret på faststofindholdet. Det er velkendt viden, at en af de parametre, der kan medvirke til at øge udvaskeligheden af Pb, er DOC (Hansen, 1999). Der gennemføres derfor en vurdering af, om det er muligt på baggrund af de forhåndenværende data at påvise en sammenhæng mellem udvaskningen af Pb og DOC. Det vurderes endvidere, om det er muligt at kombinere et forslag til grænseværdi for Pb med en grænseværdi til DOC, således at de valgte kriterier for at fastsætte grænseværdier kan opfyldes.

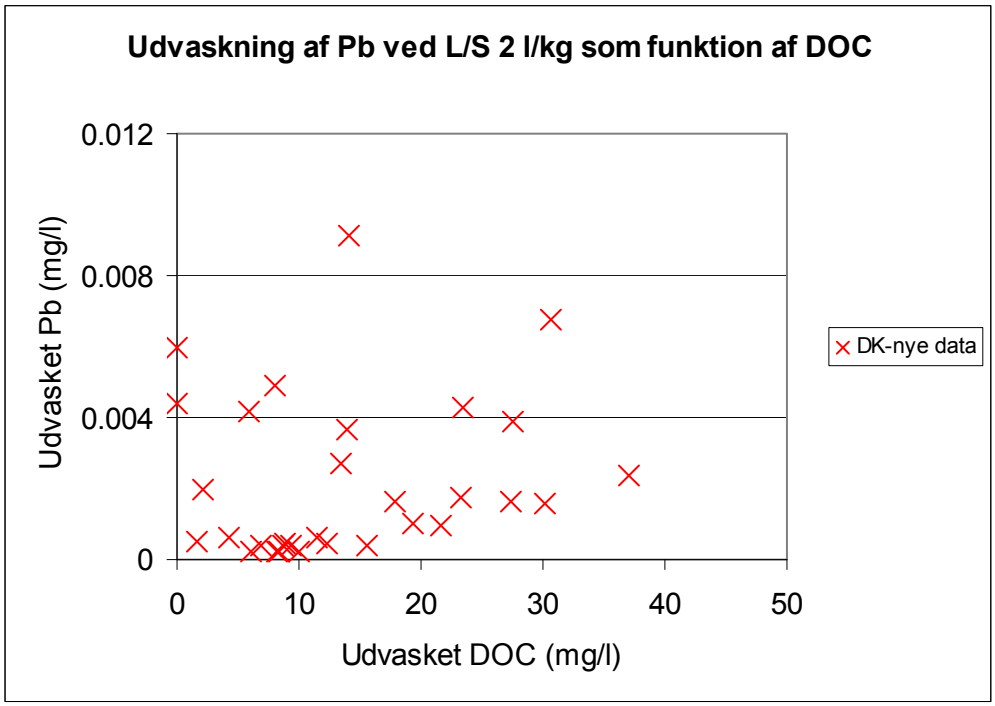
Data

Grundlaget for vurderingen er det datamateriale, som er præsenteret i DHI (2007a,b). Datamaterialet består af sammenhørende værdier for faststofindhold og udvaskning af en række forureningsstoffer fra jord. Nærværende notat fokuserer på data for udvaskning af DOC og Pb.

Ud af de 152 datasæt, som ligger til grund for vurderingerne i DHI (2008) indholder kun 29 af datasættene resultater for udvaskning af både Pb og DOC. Disse data er alle fremkommet i projektet DHI (2007 b). Vurderingerne i dette notat er foretaget på det grundlag.

Resultater og konklusion

I figur 1 er koncentrationen af Pb afbildet som funktion af DOC-koncentrationen bestemt ved en batchudvaskningstest (EN 12457-1). Det fremgår af figur 1, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem udvaskningen af Pb og DOC.



Figur 1. Udvaskning af Pb som funktion af DOC.

Opløst organisk stof (DOC) udvasket fra jord består hovedsageligt af humusstoffer (humus og fulvussyre), som ved dannelse af komplekser kan øge opløseligheden af tungmetaller. Der er dog en række faktorer, som har betydning for i hvor høj en grad disse komplekser dannes f.eks. pH, koncentrationen af konkurrerende ioner som Al^{3+}, Ca^{2+} og andre tungmetaller samt andelen af humussyre i forhold til fulvussyre. Variationen i disse faktorer for de forskellige jordprøver, som testningen er udført på, kan være en medvirkende årsag til, at man ikke umiddelbart kan se en sammenhæng mellem udvaskningen af Pb og DOC. Det skal kort nævnes, at der heller ikke for Cu, Cd og Zn kunne påvises en entydig sammenhæng.

På baggrund heraf må det konkluderes, at der ikke kan påvise en entydig sammenhæng mellem udvaskningen af Pb og DOC baseret på det datamateriale, som er tilgængeligt for undersøgelsen. Det er således heller ikke umiddelbart muligt at kombinere en grænseværdi for Pb med en tilsvarende grænseværdi for DOC, for derigennem at udelukke jorde, som er kritiske i forhold til udvaskningen af Pb.

Referencer

DHI (2007 a) Håndtering af lettere forurenet jord. Slutrapport juni 2007

DHI (2007b) Håndtering af lettere forurenet jord – supplerende data for udvaskning af uorganiske og organiske stoffer fra jord. Slutrapport september 2007.

EN 12457-1:2002 Karakterisering af affald - Stofudvaskning – Overensstemmelsestest til undersøgelse af stofudvaskning fra granulære affaldsmaterialer og slam - Del 1: Et-trins batch-test ved et væske-faststof-forhold på 2 l/kg
Hansen, Jette Bjerre (1999). Tungmetallers kompleksering med opløst organisk stof i perkolatforurenet grundvand. Ph.D.-afhandling. Institut for Miljøteknologi, DTU.

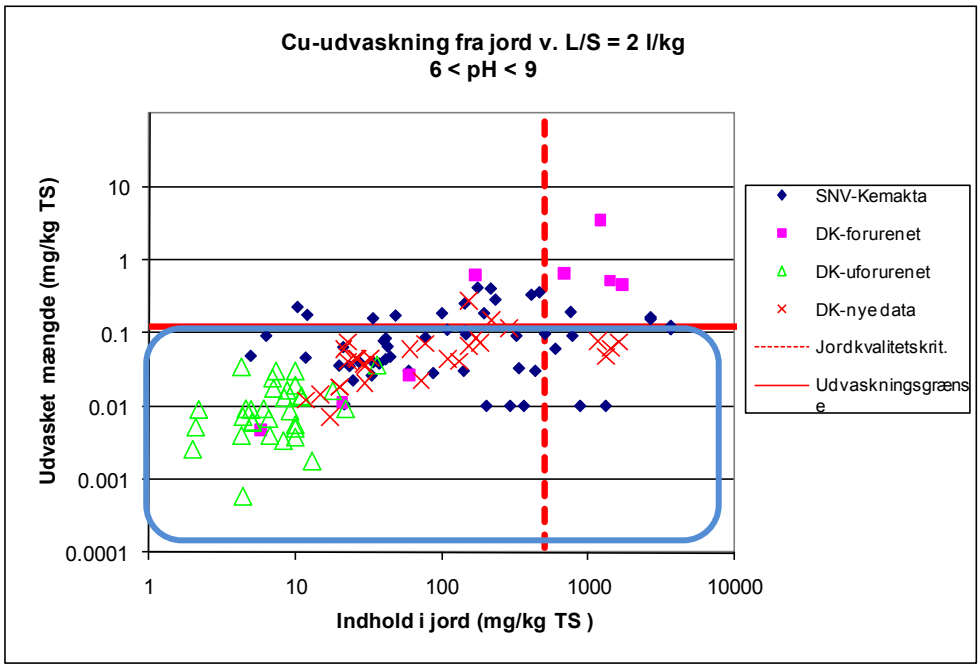
BILAG F

Vurdering af grænseværdier baseret på stofudvaskning

I forbindelse med projektet "Håndtering af jord – konsekvensvurdering" som DHI i 2007-2009 har udført for Miljøstyrelsen er der gennemført en række vurderinger, som belyser mulighederne for at opstille grænseværdier for kategori 1- og 2-jord dels baseret på analyse af faststofindholdet, dels baseret på analyse af stofudvaskning.

I udkast til slutrapport (april 2008) er der i kapitel 8 opstillet grænseværdier for genanvendelse af hhv. kategori 1- og kategori 2-jord baseret på stofudvaskningsegenskaber. Grænseværdierne er så vidt muligt opstillet således, at beskyttelsesniveauet er det samme, som ved opstilling af grænseværdier baseret på analyse af faststofindhold. Miljøstyrelsen har ønsket en vurdering af hvor stor en andel af de jordprøver, som indgår i det samlede datamateriale, der på baggrund af grænseværdierne for stofudvaskning anvendt for hhv. kategori 1- og kategori 2-jord vil kunne genanvendes.

På baggrund af det indsamlede datamateriale, som udgør grundlaget for de gennemførte projekter, er det for hvert enkelt stof opgjort, hvor stor en andel af jordprøverne, der har en stofudvaskning mindre end de foreslåede grænseværdier for hhv. kategori 1- og kategori 2-jord. Opgørelsen er baseret på en særskilt vurdering af de enkelte stoffer. Princippet i vurderingen er vist i figur F.1



Figur F.1
Udvasket mængde af Cu fra jord som funktion af faststofindhold. De jordprøver, der er indeholdt i den blå boks overholder grænseværdien for stofudvaskning og vil på baggrund af udvaskningsgrænseværdien kunne genanvendes under kategori 1.

Grænseværdier for Kategori 1-jord

De foreslåede grænseværdier for kategori 1-jord baseret på stofudvaskning er vist i hovedrapportens tabel 8.1.

Grænseværdier baseret på stofudvaskning er i princippet mere restriktive end grænseværdier baseret på faststofanalyse, idet metoden, der er anvendt til at bestemme grænseværdierne, ikke tillader at en vis andel af jordprøvernes porevandskoncentration ikke overholder grundvands-kvalitetskriteriet. Dog kan man kompensere for dette ved i konkrete genanvendelsesprojekter at tillade at en vis procentdel af jordprøverne (f.eks. 25%) giver en stofudvaskning, der overskrider udvaskningsgrænseværdierne inden for en faktor 10.

Tabel F.1 giver en opsummering af hvor stor en andel af jordprøverne, der baseret på en vurdering af enkelte stoffer, overholder grænseværdien for kategori 1-jord baseret på udvaskning.

Tabel F.1.
Opgørelse over andel af jordprøver, hvor stofudvaskningen for det enkelte stof er mindre end den foreslåede grænseværdi for kategori 1-jord.

Parameter	**Grænseværdi for kategori 1-jord** Udvasket mængde mg/kg TS	**Andel af jordprøver, der overholder grænseværdien for stofudvaskning** (%)	**Antal jordprøver, der indgår i vurderingen**
As	0,015	59	105
Ba	1,1	96	49
Cd	0,00042	62	90
Cr, total	0,037	86	111
Cu	0,12	81	122
Hg	0,00018	78	36
Mo	0,022	38	34
Ni	0,012	67	101
Pb	0,0013	10	103
Sb	0,0033	6	38
Se	0,010	74	35
Zn	0,12	76	104
Sum af PAH	0,0002	73	56
Naphthalen	0,001	74	57
Benz(a)pyren	0,00001	77	56
Dibenz(a,h)anthracen	0,00001	98	56
Sum af kulbrinter	0,009	26	27
C_6-C_{10}	0,009	77	47
C_{10}-C_{15}	0,009	59	27
C_{15}-C_{20}	0,009	41	27
C_{20}-C_{40}	0,009	44	27

Grænseværdierne for kategori 1-jord er baseret på en omregning af grundvandskvalitetskriteriet til en udvasket mængde ved det L/S-forhold, som testningen foregår ved (se kapitel 3). Som det fremgår af tabel F.1, betyder vurderingen, at mellem 6 og 98 % af de testede jorde vil kunne genanvendes, når hvert stof betragtes særskilt.

Det ses af tabel F.1, at kun 10% af jordprøverne overholder grænseværdien for Pb. Grænseværdien for Pb kan derfor forventes at blive afgørende for, om jord vil kunne genanvendes under kategori 1, når jorden vurderes på baggrund af stofudvaskning. Ligesom ved fastsættelse af grænseværdier baseret på analyse af faststofindhold bør det derfor for Pb overvejes at fastsætte grænseværdien på baggrund af et princip, der

tager højde for især stoftilbageholdelse. En grænseværdi Pb vil kunne udledes ud fra de gennemførte scenarieberegninger.

Den foreslåede grænseværdi for Sb vil betyde, at kun 6% af de 38 jordprøver vil kunne overholde grænseværdien.

For kulbrinter er udvaskningsgrænseværdien (omregnet til mg/l) på samme niveau som grundvandskvalitetskriteriet. Grundvandskvalitetskriteriet er lavere end den analytiske detektions-grænse for kulbrinter, som typisk er 0,01 mg/l. En grænseværdi for stofudvaskning i det niveau kan derfor være vanskelig at anvende i praksis, da der er en risiko for, at detektionsgrænsen for test og analyse kan være højere end grænseværdien. Testninger, som er gennemført i projektet DHI (2008), viste detektionsgrænser på følgende niveauer: C_6-C_{10}: 0,04 mg/l, C_{10}-C_{25}: 0,055 mg/l og C_{25}-C_{35} 0,01 mg/l). Det kan af praktiske årsager derfor anbefales, at grænseværdierne for stofudvaskning ikke er lavere end detektionsgrænsen.

Resultaterne kan opsummeres i følgende punkter:

- Mellem 6 og 98% af jordprøverne overholder grænseværdierne for stofudvaskning – baseret på en vurdering for de enkelte stoffer
- Grænseværdier for Sb og Pb vil blive afgørende for, om jordprøver overholder grænseværdier eller ej. Derfor bør grænseværdien for Pb fastsættes med samme beskyttelsesniveau som faststofgrænsen – dvs. under inddragelse af stoftilbageholdelse og fortynding, hvilket ikke er tilfældet på nuværende tidspunkt
- Datagrundlaget for Sb bør forbedres, inden der opstilles grænseværdier for stofudvaskning
- Grænseværdier for kulbrinter bør ikke være mindre end detektionsgrænsen, hvilket er tilfældet for de foreslåede grænseværdier.

Grænseværdier for Kategori 2-jord

En tilsvarende opgørelse er foretaget for de foreslåede grænseværdier for kategori 2-jord bestemt på baggrund af følgende scenarier:

Model A: Svarende til et genanvendelsesprojekt med maksimale dimensioner på højde 10 m, længde og bredde 140 m. Dette genanvendelsesprojekt er det største projekt, der er opstillet udvaskningsbaserede grænseværdier for. Grænseværdierne for denne model er de laveste udvaskningsgrænseværdier.

Model H: Svarende til et genanvendelsesprojekt med maksimale dimensioner på højde 4 m, længde og bredde 4 m. Dette genanvendelsesprojekt er det mindste projekt, der er opstillet udvaskningsbaserede grænseværdier for. Grænseværdierne for denne model er de højeste udvaskningsgrænseværdier.

Resultaterne af opgørelsen over, hvor stor en andel af jordprøverne der overholder de opstillede grænseværdier, er vist i tabel F.2 og F.3

Tabel F.2.
Opgørelse over andel af jordprøver, hvor stofudvaskningen for det enkelte stof er mindre end den foreslåede grænseværdi for kategori 2-jord genanvendt efter Model A.

Parameter	**Grænseværdi** Model A (10*140*140 m) Udvasket mængde mg/kg TS	**Andel af jordprøver, der overholder grænseværdien for udvaskning** (%)	**Antal jordprøver, der indgår i vurderingen**	**Antal jordprøver i kategori 2 (dvs. over JKK og under ASK)**
As	0,048	75	105	JKK og ASK ens
Ba	4,6	100	49	Ingen JKK eller ASK
Cd	0,005	86	90	24
Cr, total	0,21	95	111	2
Cu	2,6	99	121	6
Hg	0,00067	92	36	3
Mo	0,16	79	34	Intet ASK
Ni	0,085	95	101	JKK og ASK ens
Pb	0,024	80	103	29
Sb	0,012	58	38	Ingen JKK eller ASK
Se	0,056	100	35	Ingen JKK eller ASK
Zn	0,86	82	116	11
Sum af PAH	0,00061	91	56	22
Naphthalen	0,003	84	57	4
Benz(a)pyren	0,00003	86	55	29
Dibenz(a,h)anthracen	0,00003	98	55	9
Sum af kulbrinter	0,027	44	27	-
C_6-C_{10}	0,024	83	47	Intet ASK
C_{10}-C_{15}	0,027	85	27	Intet ASK
C_{15}-C_{20}	0,027	70	27	Intet ASK
C_{20}-C_{40}	0,027	59	27	13

Som det fremgår af tabel F.2, vil mellem 44% og 100% af jordprøverne overholde grænseværdierne for et større projekt (10 *140*140 m), afhængigt af hvilken parameter der betragtes. Grænseværdien for sum af kulbrinter er den grænseværdi, der for det større genanvendelsesprojekt formentlig vil være mest begrænsende for genanvendelse af jord. Derimod synes grænseværdierne for Ba, Cu og dibenz(a,h)anthracen kun i meget få tilfælde at være afgørende for om jorden vil kunne genanvendes.

Tabel F.2. Opgørelse over andel af jordprøver, hvor stofudvaskningen for det enkelte stof er mindre end den foreslåede grænseværdi for kategori 2-jord genanvendt efter Model H.

Parameter	**Grænseværdi** Model H (4*4*4 m) Udvasket mængde mg/kg TS	**Andel af jordprøver, der overholder grænseværdien for udvaskning** (%)	**Antal jordprøver, der indgår i vurderingen**
As	1,2	88	105
Ba	110	100	49
Cd	0,097	100	90
Cr, total	4,8	100	111
Cu	42	100	121
Hg	0,017	94	36
Mo	3,4	91	34
Ni	1,3	99	101
Pb	0,40	95	103
Sb	0,31	82	38
Se	1,4	100	35
Zn	19	94	116
Sum af PAH	0,016	98	56
Naphthalen	0,078	96	57
Benz(a)pyren	0,00081	100	55
Dibenz(a,h)anthracen	0,00081	100	55
Sum af kulbrinter	0,72	89	27
C_6-C_{10}	0,63	91	47
C_{10}-C_{15}	0,72	96	27
C_{15}-C_{20}	0,72	100	27
C_{20}-C_{40}	0,72	100	27

Det ses af tabel F.2, at grænseværdierne beregnet ved anvendelse af jord i et mindre projekt (4*4*4m) vil kunne overholdes af de fleste jordprøver – for de enkelte stoffer vil mellem 82 og 100% af prøverne overholde grænseværdierne.

Generelt kan det siges, at de foreslåede grænseværdier for stofudvaskning for kategori 2-jord vil kunne tillade genanvendelse af en betydeling andel af de testede jordprøver. Andelen vil afhængig af hvilket sæt grænseværdier, der anvendes, og dermed af hvor store projekter, jorden tillades genanvendt i.

Grænseværdier for kategori 2-jord baseret på stofudvaskning er i kapitel 8 opstillet for otte forskellige scenarier, det vil sige, at afhængigt af genanvendelsesprojektetsstørrelse er der otte forskellige sæt af grænseværdier. Af praktiske årsager bør der dog næppe opstilles mere end ét sæt grænseværdier i det kommende regelsæt. Grænseværdierne for det største scenarium (model A) kunne tænkes anvendt.

Anbefalinger vedrørende afstand mellem genanvendelsesprojekter og den andel af arealet af et indvindingsområde, der maksimalt må dækkes ved genanvendelse, bør opsættes jvf. de anbefalinger, der er givet i DHI 2007.

BILAG G

Undersøgelse af beregningernes følsomhed overfor kappa (K)

Beregningen af kappa-værdier for jord på grundlag af eksisterende udvaskningsdata for jord (Bilag B) gav nogle værdier, som afviger noget fra de tidligere brugte værdier, der stammer fra arbejdet i EU- regi med udvaskningskriterier for affald, der skal deponeres. De tidligere kappa-værdier er beregnet ud fra udvaskningsdata i hele intervallet L/S = 0 – 10 l/kg for en række affaldstyper, som tænktes anvendt til bygge- og anlægsarbejder i Holland i starten af 1990'erne (Aalbers et al., 1996). Som det fremgår af Bilag B, ligger forholdet mellem de nye kappa-værdier bestemt for L/S = 0-2 l/kg og L/S = 0–10 l/kg i intervallerne -13 til 22 henholdsvis -0,6 – 3,6.

Der er derfor gennemført nogle scenarieberegninger til belysning af, hvad variationen/ændringer i kappa betyder for de resulterende grænseværdier. Beregningerne er gennemført for bestemmelse af udvaskningsgrænseværdier for såvel kategori 1-jord (alle uorganiske forureningskomponenter) og kategori 2-jord (tre udvalgte forureningskomponenter og to genanvendelsesscenarier).

For kategori 1–jord er følsomhedsundersøgelsen gennemført for beregningerne af, hvorvidt jordkvalitetskritierierne for de uorganiske stoffer opfylder kravene til fastsættelse af grænseværdier (når 6 < pH < 9). Beregningerne viser, hvor stor en procentdel af populationen af de jordprøver, der har et faststofindhold af de forskellige forureningskomponenter < JKK (for Ba, Sb og Se medtages dog alle prøver, da der ikke findes jordkvalitetskriterier (JKK) for disse), som overholder henholdsvis grundvandskvalitetskriterierne (GVK) og 10 x GVK, når resultatet af en udvaskningstest ved L/S = 2 l/kg omregnes til koncentrationen den tilsvarende koncentration i porevand (L/S = 0,27 l/kg) ved hjælp af kappa (se afsnit 3 i rapporten). De procentsatser, som er beregnet på grundlag af kappa-værdierne bestemt af Aalbers et al., og som er vist i rapportens tabel 4.2., er i tabel G1 sammenlignet med tilsvarende beregninger foretaget på grundlag af de middelværdier af kappa for jord, som er bestemt for L/S = 0 – 2 l/kg og vist i tabel 2 i Bilag B. For As blev der i Bilag B fundet en negativ kappa-værdi (eksponentielt stigende i intervallet), og den er i tabel G1 sat til en meget lav, positiv værdi. Beregningerne for As skal derfor under alle omstændigheder vurderes med et vist forbehold. Som det fremgår af tabel G1 kan ændringerne i kappa medføre betydelige ændringer i vurderingen af overholdelsen af GVK i porevandet, især for Cd, Hg, Mo, Ni, og Sb. For Hg spiller det en rolle, at mange af udvaskningsresultaterne er lavere end detektionsgrænsen for analysemetoden, og for bl.a. Mo er overholdelsesprocenten højest for den "nye" kappaværdi. Overholdelsen af 10 x GVK er derimod meget lidt påvirket af ændringerne i kappa.

For kategori 2-jord er følsomhedsundersøgelsen gennemført for beregningerne af grænseværdier for udvaskning for to af de i afsnit 8.2 benyttede scenarier, nemlig model B og model G. Der er udvalgt 3 forskellige forureningskomponenter, Hg, Pb og Sb, for hvilke forskellen mellem de af Aalbers et al. bestemte kappaværdier og de af DHI bestemte kappaværdier for jord er betydelig. De tre stoffer repræsenterer samtidig en betydelig spredning af Kd-værdier. Dette spiller en rolle, da de resulterende grænseværdier blandt andet afhænger af kombinantionen af kappa og Kd (i samspil med de øvrige scenariebetingelser). De anvendte stofafhængige parametre (kappa, Kd, baggrundskoncentration i grundvandet og grundvandskvalitetskriterie) er vist i tabel G2 sammen med resultaterne af beregningerne af udvaskningsgrænseværdier for de to scenarier. Beregningerne er udført for flere kombinationer af kappa og Kd for hver forureningskomponent (for Kd er der ud over den fastlagte værdi også anvendt en anden, "fiktiv" værdi for hvert stof). Af resultaterne fremgår det, at effekten af selv store variationer i kappa og Kd har en ret begrænset indflydelse på de resulterende grænseværdier for stofudvaskning.

Tabel G1
Kategori 1-jord. Sammenligning af resultater af beregning af porevandskoncentrationernes overholdelse af GVK og 10 x GVK for kappaværdier beregnet af Aalbers et al. (anvendt i rapporten) og kappaværdier for jord beregnet af DHI i Bilag B.

Parameter	Oprindelse af kappa	Kappa ()	Procentdel	
		kg/l	< GVK	< 10 x GVK
As	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,03	79	100
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,0001	83	100
Ba	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,15	96	100
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,47	92	100
Cd	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,50.	88	96
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	1,10	48	95
Cr	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,18	88	99
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,63	83	95
Cu	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,28	86	100
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,48	80	100
Hg	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,05	85	100
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	1,1	0	92
Mo	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,35	41	93
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,15	59	96
Ni	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,29	75	99
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,73	52	99

Pb	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,27	21	85
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,19	23	88
Sb	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,11	16	71
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,61	3	63
Se	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,38	77	100
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,75	63	100
Zn	Aalbers et al. (L/S = 0-10 l/kg)	0,28	79	97
	DHI, jordprøver, L/S = 0-2 l/kg	0,46	74	96

Tabel G2
Kategori 2- jord. Effekten af variationer i kappa og Kd for Hg, Pb og Sb på beregnede udvaskningskriterier for scenarierne B og G.

	Udvaskn.	Sorption	Baggrunds-koncentration	GVK	Beregnede maksimale udvaskninger ved L/S = 2 l/kg hvis GVK skal opfyldes i POC=30 meter nedstrøms	
Parameter	Kappa	Kd	$C_{Baggr.}$	C_{GVK}	10 m x 100 m x 100 m	5 m x 100 m x 100 m
	kg/l	l/kg	µg/l	µg/l	MODEL B	MODEL G
					mg/kg	mg/kg
Hg	0.05	1	0.0011	0.1	0.0007	0.0007
Hg	0.05	20	0.0011	0.1	0.0008	0.0009
Hg	1.1	1	0.0011	0.1	0.0004	0.0004
Hg	1.1	20	0.0011	0.1	0.0012	0.0020
Pb	0.19	50	0.05	1	0.013	0.079
Pb	0.19	100	0.05	1	0.020	0.031
Pb	0.27	50	0.05	1	0.015	0.025
Pb	0.27	100	0.05	1	0.025	0.044
Sb	0.11	5	0.08	2	0.014	0.015
Sb	0.11	7	0.08	2	0.015	0.016
Sb	0.61	5	0.08	2	0.013	0.015
Sb	0.61	7	0.08	2	0.012	0.018

Kombinationen af kappa og Kd, som er anvendt i rapporten.