

Miljøprojekt Nr. 913 2004  
Teknologiudviklingsprogrammet for  
jord- og grundvandsforurening.

## Diffus jordforurening og trafik

Delrapport 3

Jacqueline Anne Falkenberg, Anne Dahl Thomsen, Bjarne  
Persson og Tina Soewarta Schmidt  
NIRAS

Jens Strodl Andersen  
JSA-EnviroStat

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

<b>FORORD</b>	<b>7</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>9</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>13</b>
<b>1 INDLEDNING OG FORMÅL</b>	<b>17</b>
1.1 BAGGRUND	17
1.2 FORMÅL VED FASE II	20
1.3 LÆSEVEJLEDNING	21
<b>2 HISTORISK REDEGØRELSE OG AFGRÆNSNING AF UNDERSØGELSESAREAL</b>	<b>23</b>
2.1 SYSTEMATISKE TRIN VED OPBYGNING AF STRATEGIEN	23
2.2 HISTORISK REDEGØRELSE	23
<i>Hareskovvej</i>	25
<i>Frederikssundsvej</i>	26
2.3 METEOROLOGISKE DATA	26
2.4 OPSTILLING AF FORURENINGSMODELLER	27
<i>Baggrundsniveauer</i>	27
2.5 AFGRÆNSNING AF TESTAREALET	29
2.6 DEFINITION AF HYPOTESER	30
2.7 VALG AF ANALYSEPARAMETRE OG MÅLETEKNIKKER	31
<i>Tungmetaller</i>	32
<i>PAH</i>	32
<i>Olie</i>	33
<i>PCB og Phthalater</i>	33
<i>Dioxiner</i>	34
<i>Pesticider</i>	34
2.8 DESIGN AF FORSØGSPLAN	34
2.9 PRØVETAGNINGSPLANEN	37
<i>Besigtigelse</i>	37
<i>Antal af prøvetagningspunkter - Hareskovvej</i>	37
<i>Antal af prøvetagningspunkter - Frederikssundsvej</i>	37
2.10 PRØVETAGNINGSSARBEJDE	38
2.11 ANALYSEARBEJDE	39
<i>PID, pH, tørstofindhold og organisk indhold</i>	39
<i>Tungmetaller</i>	39
<i>PAH</i>	40
<i>Olie</i>	40
<i>Phthalater, PCB, dioxin og pesticider</i>	40
<i>Kvalitetsmålinger</i>	40
2.12 DATABASEHANDLING: DESKRIPTIV STATISTIK	40
<i>Fraktiler</i>	40
<i>Data under detektionsgrænser</i>	41
<i>Gennemsnit</i>	42
<i>Datafordeling og betydning ved databehandling</i>	42
<i>Korrelation mellem parametre</i>	43

<b>3</b>	<b>RESULTATER OG DATABEHANDLING</b>	<b>45</b>
3.1	PRØVETAGNING	45
	<i>Hareskovvej</i>	45
	<i>Frederikssundsvej</i>	45
3.2	DESKRIPTIV STATISTIK FOR TUNGMETALLER, OLIE OG PAH	46
	<i>Arsen</i>	46
	<i>Bly</i>	47
	<i>Cadmium</i>	51
	<i>Chrom</i>	52
	<i>Kobber</i>	53
	<i>Nikkel</i>	56
	<i>Zink</i>	56
	<i>Totalkulbrinter</i>	58
	<i>PAH</i>	59
	<i>Korrelation mellem parametre</i>	63
3.3	DESKRIPTIV STATISTIK FOR ØVRIGE ORGANISKE PARAMETRE	63
	<i>PCB</i>	63
	<i>Phthalater</i>	64
	<i>Dioxiner</i>	65
	<i>Pesticider</i>	66
3.4	PAH-SAMMENSÆTNING	66
3.5	KONKLUSION	74
<b>4</b>	<b>STATISTISK ANALYSE AF HARESKOVVEJ</b>	<b>77</b>
4.1	DESKRIPTIV STATISTIK	77
4.2	ANALYSE AF KONCENTRATION, AFSTAND OG DYBDE	81
	<i>Bly</i>	82
	<i>Chrom</i>	83
	<i>Kobber</i>	84
	<i>Nikkel</i>	85
	<i>Zink</i>	86
	<i>Benzo(a)pyren</i>	87
	<i>PAH</i>	88
4.3	PRINCIPAL KOMPONENT ANALYSE (PCA)	88
4.4	LOKAL REGRESSION MED PRINCIPALE KOMPONENTER	90
	<i>Betydning af afstand for små dybder</i>	90
	<i>Betydning af dybde ved små afstande</i>	91
	<i>Betydning af moderate dybder og afstande</i>	92
4.5	KONKLUSION	94
<b>5</b>	<b>ERFARINGER VED AFPRØVNING AF STRATEGIEN</b>	<b>95</b>
5.1	FORURENINGSMODEL	95
5.2	ANALYSEPARAMETRE OG ANALYSEPLAN	95
	<i>Tungmetaller, olie og PAH</i>	96
	<i>PCB</i>	96
	<i>Phthalater</i>	96
	<i>Dioxin</i>	96
	<i>Pesticider</i>	96
	<i>Konklusion vedrørende standardanalyseparametre</i>	97
5.3	MÅLETEKNIKKER	97
5.4	DESIGN AF FORSØGSPLAN	99

<b>6</b>	<b>HYPOTESER</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>ORDFORKLARING</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>107</b>



# Forord

Nærværende udredningsprojekt om kortlægning af diffus jordforurening i byområder er iværksat af Københavns Kommune, Miljøkontrollen, under Miljøstyrelsens teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening. Projektet har det overordnede formål, at udarbejde metoder til optimering og forenkling af myndighedernes faglige arbejde ved kortlægning af diffus jordforurening i byområder på Vidensniveau 2.

Amterne nedprioriterer i dag kortlægningen af diffust forurenede områder, indtil man er færdig med de mere forurenede punktkilder. Depotrådet er enig i denne praksis. Projektet kan medvirke til udvikling af en ny og mere enkel fremgangsmåde for amternes kortlægning af de diffust forurenede områder. I første omgang vil projektet indgå som baggrundsmateriale for den arbejdsgruppe, som nedsættes ifølge aftale mellem regeringen og Amtsrådsforeningen, og som i 2004 skal undersøge mulighederne for at klargøre og forenkle reglerne vedrørende jordforurening. Gruppen vil beskæftige sig med jordforureningslovens bestemmelser om kortlægning og jordflytning. I arbejdsgruppen deltager Miljøministeriet, Justitsministeriet, Finansministeriet og de kommunale parter.

Projektet er opdelt i 2 faser, hvor Fase I er afsluttet og omfatter indsamling af erfaringer og viden om forureningskilder samt forslag til teknikker og metoder til undersøgelse af diffust forurenede jord. Fase II omfatter en fysisk afprøvning af disse og på baggrund heraf er der udarbejdet konkrete anvisninger for strategier ved undersøgelse af diffus jordforurening i byområder.

I Fase II er udarbejdet følgende fire delrapporter:

- Delrapport 1: Strategier for kortlægning af diffus jordforurening i byområder
- Delrapport 2: Datarapport: Diffus jordforurening og kulturlag
- Delrapport 3: Datarapport: Diffus jordforurening og trafik
- Delrapport 4: Datarapport: Diffus jordforurening og industri

Nærværende rapport er delrapport 3 og omfatter en datarapport om den fysiske afprøvning af undersøgelsesstrategier af diffus jordforurening forårsaget af forurening fra trafikken.

Projektet er udført af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S i samarbejde med styregruppen. Følgende personer har deltaget i styregruppen:

- Mariam Wahid, Københavns Kommune, Miljøkontrollen (formand)
- Ulla Højsholt, Miljøstyrelsen
- Arne Rokkjær, Amternes Videncenter for Jordforurening
- Pernille Milton Smith, Københavns Amt
- Poul Aaboe Rasmussen, Frederiksborg Amt
- Martin Stærmose, Vestsjællands Amt





# Sammenfatning og konklusioner

Nærværende datarapport omhandler den fysiske afprøvning af undersøgelsesstrategier for kortlægning af diffus jordforurening, forårsaget af emission fra trafikken. Rapporten beskriver dataindsamling og resultater for undersøgelse af diffus jordforurening langs to forskellige vejstrækninger i København.

Datarapporten er én af 7 rapporter udarbejdet i forbindelse med et projekt iværksat af Københavns Kommune, Miljøkontrollen under Miljøstyrelsens teknologiprogram. Projektets overordnede formål er, at udarbejde metoder til optimering og forenkling af myndighedernes faglige arbejde ved kortlægning af diffus jordforurening på Vidensniveau 2.

## ***Testareal***

Undersøgelsen er foretaget på to forskellige vejarealer, henholdsvis Hareskovvejen og Frederikssundsvej, som er etableret for mindst 60 år siden og har en trafikdensitet på 20.000 - 48.000 biler/dag.

## ***Forureningsmodel***

Den diffuse jordforurening langs hovedveje antages at kunne beskrives med

- en liniemodell, dvs. emissioner fra trafik og vejanlæg

## ***Hypoteser om liniemodell***

Det antages, at forureningen består af bly og andre tungmetaller, PAH, olie, PCB, pesticider, dioxiner, og evt. phthalater. Det antages, at forureningen aftager med afstanden fra vejen, og at det forureningspåvirkede areal strækker sig fra 0 til mindst 30 m fra vejrabatten. Ved større afstand antages forureningsniveauet alene at være bestemt af områdets øvrige diffuse kilder (kulturlag - bidragsmodell). Det antages, at jordforureningen aftager i dybden.

## ***Forsøgsplan***

Liniemodellen forudsætter at forureningsniveauet i prøvetagningspunkter langs de to testarealer aftager med afstanden fra vejen og i dybden. Til dokumentation af forureningsniveau og afhængighed af afstand fra vejen udtages derfor en række prøver fra prøvetagningsfelter placeret med forskellige afstande fra vejen. For at bestemme variationerne i dybden udtages der prøver i forskellige dybder ned til 1m's dybde.

I alle prøver måles indikatorparametre og der udvælges passende prøver til analyse for de øvrige parametre.

## ***Resultater***

Generelt konkluderes det, at forureningsmønstret på testarealet er godt beskrevet ved liniemodellen i et nærområde på 0 - 15 m fra vejkanten, mens at arealer i større afstand af vejrabatten kan beskrives med bidragsmodellen.

Det er dog observeret, at der langs vejene findes stor spredning i koncentrationsniveauerne. Det antages at skyldes, at jorden langs rabatten er

blevet vilkårlig fjernet eller afhøvlet i forbindelse med vedligeholdelse og anlægsarbejder.

Generelt ses det, at forureningen er størst i det øverste jordlag (bidrag ovenfra), men den kan godt fortsætte til mindst 0,3 m's dybde.

En sammenligning af PAH-sammensætningen af jordprøver udtaget på testarealer i kulturlag og omkring industrien samt jordprøver udtaget tæt på de to veje, viser tegn på, at PAH-indikatorerne for emission fra trafikken er lidt forhøjede tæt på vejene. Disse forhold er imidlertid ofte slørede, hvilket antagelig skyldes, at der er bidrag fra mange kilder. Vurderingen af PAH-sammensætningen er især interessant i forbindelse med kildekarakterisering, men bidrager ikke væsentligt til kortlægningen af diffus jordforurening.

#### *Tungmetaller, olie og PAH*

Generelt ses overskridelser af JKK for bly og BaP samt cadmium i jorden tæt på vejkant, og få overskridelser af ASK for BaP. Kobber og zink viser enkelte overskridelser og indholdet er generelt forhøjet i forhold til baggrundsværdierne i landområder. Indholdet af bly, kobber og zink i jordprøver er ofte i en vis grad korrelerede.

Overskridelse af JKK for kulbrinter ses for ca. 50% af prøverne udtaget i det øverste jordlag fra 0 - 0,1 m's dybde, inden for 10 m's afstand fra vejen. Olieindhold på op til 700 mg/kg TS er målt.

Benzo(a)pyren (BaP) er en hyppig og særlig kritisk forureningsparameter. Ved at måle på alle 7 PAH kan det desuden kontrolleres, at der er overensstemmelse mellem koncentrationsniveauerne for BaP og DiBaA (dibenz(ah)anthracen), idet de enkelte PAH er direkte korreleret.

#### *PCB*

Generelt er der ikke påvist indhold af polychlorede biphenyler (PCB) i jordprøver udtaget langs veje (intet påvist i 85% af prøverne).

#### *Phthalater*

Der er målt lave indhold af phthalater i alle prøver, men ingen overskridelser af JKK. Der er tilsyneladende lidt højere indhold i prøver udtaget tæt på vejen.

#### *Dioxin*

Der er fundet lave indhold af dioxiner i alle jordprøver (2 - 8 ng internationale toksicitetsækvivalenter (ITE)/kg TS). Der er ikke opstillet et dansk JKK for dioxin, hvorfor den sundhedsmæssige betydning ikke umiddelbart kan vurderes. Til orientering kan det nævnes, at baggrundsniveauet i landbrugs- og byområder i Tyskland er henholdsvis 1 - 5 ng ITE/kg TS og 10 - 30 ng ITE/kg TS /18,25/.

#### *Pesticider*

Pesticidindholdet (kun pesticider med lange nedbrydningstider) er analyseret i 9 jordprøver, men der er kun fundet lave indhold af DDT i 3 af de 9 prøver (0,005 - 0,018 mg/kg TS). JKK på 0,5 mg DDT/kg TS er ikke overskredet.

### ***Erfaringer vedrørende strategien***

#### *Standardanalyseparametre*

De mest dominerende forureningskomponenter ved diffus jordforurening langs trafikerede veje er bly og benzo(a)pyren (BaP). Supplerende analyser for andre tungmetaller (cadmium, kobber, zink) og sum af PAH vil dog

medvirke til en bedre beskrivelse af forureningsfordelingen og identificering af eventuelle påvirkninger fra andre forureningskilder.

#### *Forsøgsplan*

Forsøgsplanen for undersøgelse af diffus jordforurening og trafik har været baseret på tilfældige prøvetagningsfelter af 2 x 2 m (4 m<sup>2</sup>) placeret i forskellige afstandsintervaller. Prøvetagningspunkterne er ikke forsøgt etableret som en række tværsnit til vejtracen, selv om tværsnit forekommer.

Det blev antaget, at forureningsniveauet inden for et afstandsinterval - f.eks. zone A (0-2 m fra vejen) - er sammenligneligt (ens). Det vil sige, at indholdet i jordprøver fra samme dybder i hver zone bør ligge inden for et relativt smalt konfidensinterval. Imidlertid har afprøvningen vist, at spredningen indenfor en zone har været stor, mens spredningen i de enkelte prøvetagningsfelter af 4 m<sup>2</sup> har været væsentlig mindre.

For at sikre, at forureningsforholdene kan evalueres i forhold til positionen langs vejen, anbefales det, at den fremtidige strategi omfatter prøvetagning langs et tværsnit 0 – 20 m fra vejkant.



# Summary and conclusions

This data report presents the data collection and results for the investigation of diffuse soil pollution caused by emissions from traffic. The report concerns data collection and results for the investigations of diffuse soil pollution along two different road sections.

The data rapport is one of four reports prepared in connection with a project initiated and supervised by the Agency of Environmental Protection in the City of Copenhagen under the Danish EPA Technology Program. The overall objective is to prepare methods to optimise and simplify technical investigations by the environment authorities in connection with mapping of diffuse soil pollution at the legislative Knowledge Level 2.

## ***Test area***

The investigation was carried out on two different section of Hareskov road and Frederiks road, both established at least 60 years ago and both have a traffic density of 20,000 - 48,0000 cars a day.

## ***Conceptual model***

The diffuse soil pollution alongside the main roads is assumed to be described by

- a line model due to emissions from traffic and the road construction

## ***Hypotheses on the line model***

It is assumed that the contamination consists of lead and other heavy metals, PAH, oil, pesticides, dioxins and phthalates. It is assumed that the pollution decreases with distance from the road, and that the contaminated area extends to at least 30 m from the road verge. At greater distances, it is assumed that the level of contamination is determined alone by the other diffuse sources of pollution (historic fill – contribution model). It is assumed that the soil pollution decreases with depth.

## ***Experimental plan***

in the line model contamination levels in the sampling positions along the two test sections of road are expected to decrease with distance from the road and in depth. To document contamination levels and dependency of distance from the road, samples are taken from sampling areas placed at different distances form the road verge. To determine variation in depth, samples are taken at different depths down to 1 m.

In all samples, indicator parameters are measured, and selected samples are analysed for other additional parameters.

## ***Results***

Generally, it is concluded that the contaminant pattern along the test road sections can be described by the line model within 0 – 15 m from the road verge, while areas at greater distance from the verges can be described by the contribution model.

Large variation in concentration levels is observed in samples close to the road, and it is assumed that soil along the verges is arbitrarily removed or planed in connection with road maintenance or renovation.

Generally, the contamination levels are highest in the upper soil layers (contribution from the surface), but can penetrate to a depth of at least 30 cm.

A comparison of PAH composition in soil samples from the test areas in housing areas with historic fill or contamination from industrial stacks and soil samples taken close to the two main roads indicates that three PAH indicators that are expected to indicate emission from traffic, are elevated in soil samples close to the road. While the analysis of additional PAH to assess the PAH composition has indicated some interesting relationships, these are often indistinct, presumably due to the many sources that contribute to the PAH load in soils. Assessment of PAH composition is especially interesting in connection with characterization of pollution sources, but does not aid appreciably in the mapping of diffuse soil pollution.

#### *Heavy metals, oil and PAH*

Generally, soil quality criteria (JKK) for lead, BaP and cadmium are exceeded in soil samples close to the road, and a few samples exceed the soil intervention level (ASK) for BaP. Copper and zinc contents are elevated in comparison to urban background levels, and a few samples exceed JKK. The content of lead, copper and zinc in soil samples are correlated to a certain extent.

Soil quality criteria for hydrocarbons (oil) are exceeded in about 50% of soil samples in the upper soil layers (10 cm). Oil contents of up to 700mg /kg dw have been measured.

Measurement of PAH is an important parameter, but BaP is the most critical PAH parameter. Measurements of seven PAH can be used to control if there is agreement between the content of BaP and DiBaA (dibenz(ah)anthracen), in that individual PAHs are directly correlated

#### *PCB*

PCB was generally not found in soil samples alongside the two roads (no PCB was detected in 85% of the samples)

#### *Phthalates*

Low content of phthalates was detected in all samples, but the JKK is not exceeded. The content of phthalates taken in samples immediately alongside the road is slightly elevated compared to samples at a greater distance from the road

#### *Dioxin*

All the analysed soil samples had a low content of dioxins (2 - 8 ng international toxic equivalents (ITE)/kg DW). There is no Danish JKK, and therefore the toxicological aspects cannot be assessed. However in Germany, the background level in rural and urban areas is 1- 5 ng ITE/kg dw and 10 - 30 ng ITE/kg dw respectively.

#### *Pesticides*

The pesticide content (only pesticides with slow degradation times) was determined in nine soil samples, but only low levels of DDT were found in

three of the nine samples (0,005 - 0,018 mg/kg dw). The JKK for DDT of 0.5 mg/kg dw was not exceeded.

### ***Experiences concerning the strategy***

#### *Analytical parameters*

The important pollutants in diffuse soil pollution along roads are lead and benzo(a)pyrene (BaP). Supplementary analysis for other heavy metals (cadmium, copper and zinc) and sum of PAH will lead to a better description and documentation that the contaminant levels along the road section lie within the expected range, and to identifying possible contaminant loads from other sources.

#### *Experimental plan*

The experimental plan for the investigation of diffuse soil pollution and traffic was based on random sampling in 2 by 2 m (4m<sup>2</sup>) sampling areas placed at different distances from the road.

It was assumed that the contaminant levels within a distance zone – e.g. Zone A 0-2 m from the road – are comparable. In other words that the content in soil samples from the same depth in each zone should lie within a narrow confidence interval. However, variation in concentration levels within a zone was high, while variation in the individual 4 m<sup>2</sup> sampling areas was low.

To ensure that the contaminant levels can be evaluated in relation to position along a road, it is recommended that a future strategy should comprise sampling in 0 - 20 m profiles at right angles to the road.





# 1 Indledning og formål

## 1.1 Baggrund

Københavns Kommune, Miljøkontrollen, har under Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram iværksat et projekt med det overordnede formål, at udarbejde metoder til optimering og forenkling af myndighedernes faglige arbejde ved kortlægning af diffus jordforurening i byområder.

Projektet er opdelt i 2 faser. Fase I har omfattet indsamling af erfaringer og viden om forureningskilder samt teknikker og metoder til undersøgelse af diffust forurenede jord. I Fase I af projektet om kortlægning af diffus jordforurening i byområder er udarbejdet følgende tre delrapporter:

- Miljørapport 663: Kortlægning af diffus jordforurening i byområder.  
Delrapport 1: Erfaringsopsamling og afklaring af kilder til diffus jordforurening i byområder /1/.
- Miljørapport 664: Kortlægning af diffus jordforurening i byområder.  
Delrapport 2: Afprøvning af feltmetoder ved undersøgelse af diffust forurenede jord /2/.
- Miljørapport 665: Kortlægning af diffus jordforurening i byområder.  
Delrapport 3: Indledende forslag til undersøgelsesstrategier for kortlægning af diffust forurenede arealer i byområder /3/.

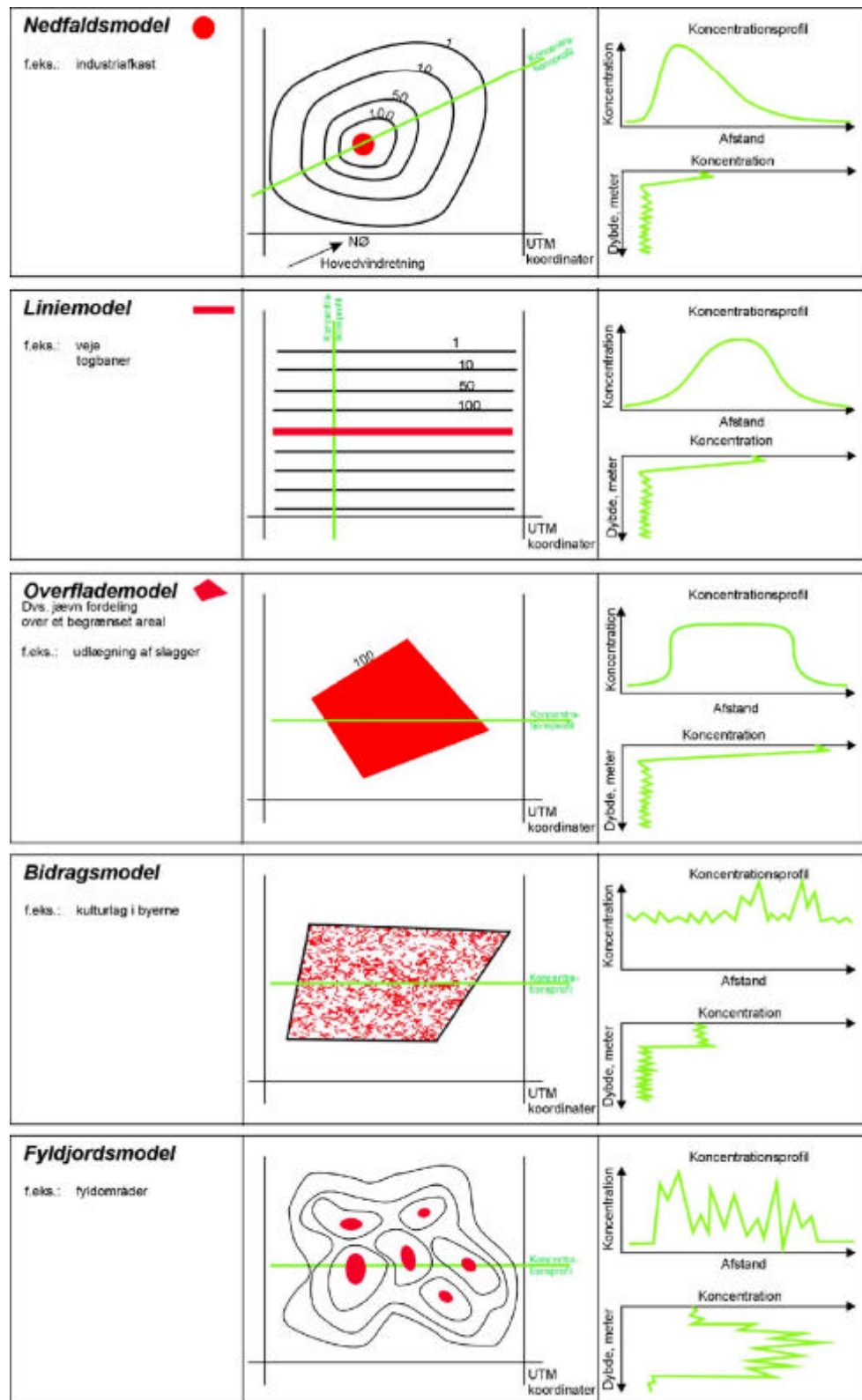
I Miljøprojekt 663 /1/ er kilder til diffus jordforurening defineret i forhold til fem forskellige forureningsmodeller for diffus jordforurening, som beskriver den måde, hvorpå en jordforurening er opstået.

De fem forureningsmodeller er som følger /1/:

- Nedfaldsmodel:** En belastning, der i sin oprindelse stammer fra luftbårne emissioner (støv, gasarter) fra en eller flere punktkilder, f.eks. skorstensafkast fra forbrændingsanlæg, krematorier, m.v.  
Den diffuse jordforurening aftager i styrke med afstanden fra den oprindelige punktkilde, og nedfaldsarealet kan være afhængig af det fremherskende vindforhold samt topografiske og fysiske forhold ved punktkilden.
- Liniemodel:** En belastning, der i sin oprindelse stammer fra et langstrakt element i landskabet, f.eks. veje, jernbaner m.v.  
Den diffuse jordforurening aftager i styrke vinkelret fra liniekilden.
- Overflademodel:** En belastning, der i sin oprindelse stammer fra den jævne udspredding af et medie, f.eks. en tidligere ukontrolleret udspredding af slagge, brugt myremalm, spildevandsslam, m.v.

Den diffuse jordforurening udgør en forholdsvis ensartet belastning over hele det påvirkede areal.

- Bidragsmodel:** En belastning, der i sin oprindelse stammer fra små tilfældige bidrag igennem århundreder, f.eks. de kulturlag, hvorpå byen vokser.  
Den diffuse jordforurening udgør en varierende og tilfældig belastning af topjorden i hele området.
- Fyldjordsmodel:** En belastning, der i sin oprindelse stammer fra en systematisk påfyldning af jord, affald eller materiale af ukendt oprindelse, f.eks. fyldområder uden tydelig afgrænsning ved især lavtliggende områder, havne- og kystarealer samt ved byggemodning, terrænregulering og anlægsarbejder.  
Den diffuse jordforurening udgør en varierende og tilfældig belastning i dybden over hele området.



Figur 1.1 De fem forureningsmodeller for diffus jordforurening  
The five conceptual pollution models

De fem forureningsmodeller er illustreret i figur 1.1. Bidragsmodellen og fyldjordsmodellen adskiller sig alene ved at fyldjordsmodellen er baseret på systematisk påfyldning af jord af ukendt oprindelse, hvor forurenede jordpartier kan have indgået, mens bidragsmodellen er baseret på små tilfældige bidrag igennem århundreder.

Diffuse forureningskilder er typisk industriafkast eller trafik, som medfører luftbåren forurening. Diffus jordforurening kan være forårsaget af både diffuse kilder og punktkilder som beskrevet i det følgende:

- Diffus jordforurening er oprindeligt forårsaget af hændelser relateret til en eller flere punktkilder, men der er sket en spredning, opblanding eller fortynding, således at forholdet mellem kildestyrken og jordforureningen er sløret.
- Diffus jordforurening er i modsætning til jordforurening ved punktkilder ikke afgrænset til arealer umiddelbart i nærheden af punktkilden, og vil typisk omfatte bidrag fra flere kilder.
- Kilder til diffus jordforurening er svære at identificere, og den diffuse jordforurening er typisk af lettere grad end jordforurening ved punktkilder, såsom industrigrunde eller affaldsdepoter.
- Områder, der igennem tiden har været forurenede af mange forskellige aktiviteter, f.eks. kulturlag i gamle bydele, eller større områder, der er blevet forurenede i forbindelse med jordflytning ved anlægsprojekter, byggemodning, landindvinding m.v., er vurderet som diffust forurenede.

Udgangspunktet for en undersøgelsesstrategi er, at den diffuse jordforurening ved hjælp af en historisk redegørelse for området eller et afgrænset delområde heraf skal kunne relateres til en eller flere hændelser, der er årsagen til at området/delområdet som helhed er forurenede, og dermed kan beskrives ved hjælp af statistisk værktøj /3/.

Forslag til strategier, som kan kombineres og anvendes i forbindelse med undersøgelser for diffust forurenede jord, er beskrevet i miljøprojekt 665 /3/.

## 1.2 Formål ved fase II

Fase II har til formål at:

- Udføre fysiske undersøgelser i henhold til de i Fase I udarbejdede undersøgelsesstrategier for diffust forurenede arealer i Københavns Kommune og Ringsted.
- Afprøve de i Fase I afprøvede og validerede feltmetoder i forbindelse med undersøgelsesstrategier.
- Effektivisere og forenkle undersøgelsesmetoder og -strategier.
- Vurdere om den diffuse jordforurening i provinsbyer er af en anden karakter end den diffuse jordforurening i Københavns kommune.
- Behandle undersøgelsesresultater med statistiske og geostatistiske værktøjer.
- Foretage vurderinger og angive anbefalinger vedrørende databehandling i forbindelse med fremtidige fysiske undersøgelser af diffust forurenede arealer.
- Revidere undersøgelsesstrategier for fremtidige fysiske undersøgelser af diffus jordforurening.

I Fase II er udarbejdet følgende fire delrapporter:

- Delrapport 1: Strategier for kortlægning af diffus jordforurening i byområder
- Delrapport 2: Datarapport: Diffus jordforurening og kulturlag
- Delrapport 3: Datarapport. Diffus jordforurening og trafik
- Delrapport 4: Datarapport: Diffus jordforurening og industri

Nærværende rapport er delrapport 3 og omfatter en datarapport om den fysiske afprøvning af undersøgelsesstrategier af diffus jordforurening forårsaget af forurening fra trafikken. Rapporten omhandler dataindsamling og resultaterne for undersøgelsen af diffus jordforurening langs to forskellige vejstrækninger:

- Hareskovvej – 1,5 km
- Frederikssundsvej – 0,4 km

### 1.3 Læsevejledning

I kapitel 1 er projektets baggrund og formål beskrevet.

I kapitel 2 er strategien, undersøgelsesteknikken og metoden for data-behandling for undersøgelse af trafik (linemodell) i byområder beskrevet.

I kapitel 3 og 4 er resultater og databehandling beskrevet.

I kapitel 5 redegøres for erfaringer ved afprøvning af strategien.

I kapitel 6 opsummeres konklusioner vedrørende de opstillede hypoteser.

I kapitel 7 angives en ordforklaring for de anvendte forkortelser.

I kapitel 8 angives en referenceliste



## 2 Historisk redegørelse og afgrænsning af undersøgelsesareal

I det følgende beskrives undersøgelsesstrategien for diffus jordforurening fra trafikken (liniemodellen) langs to vejstrækninger i Københavns kommune.

### 2.1 Systematiske trin ved opbygning af strategien

Undersøgelsesstrategien omfatter følgende trin, jf. /3/:

- Udarbejdelse af den historiske redegørelse, dvs. inddragelse af eksisterende viden om området.
- Opstilling af en eller flere forureningsmodeller for diffus jordforurening i området.
- Geografisk afgrænsning af det areal, der skal undersøges.
- Opstilling af hypoteser.
- Valg af passende analyseparametre og måleteknikker.
- Design af forsøgsplan, herunder hvilke data, der er nødvendige for at kunne acceptere eller afvise de definerede hypoteser.
- Opstilling af prøvetagnings- og analyseplan.

Undersøgelsesstrategien er illustreret i figur 2.1.

### 2.2 Historisk redegørelse

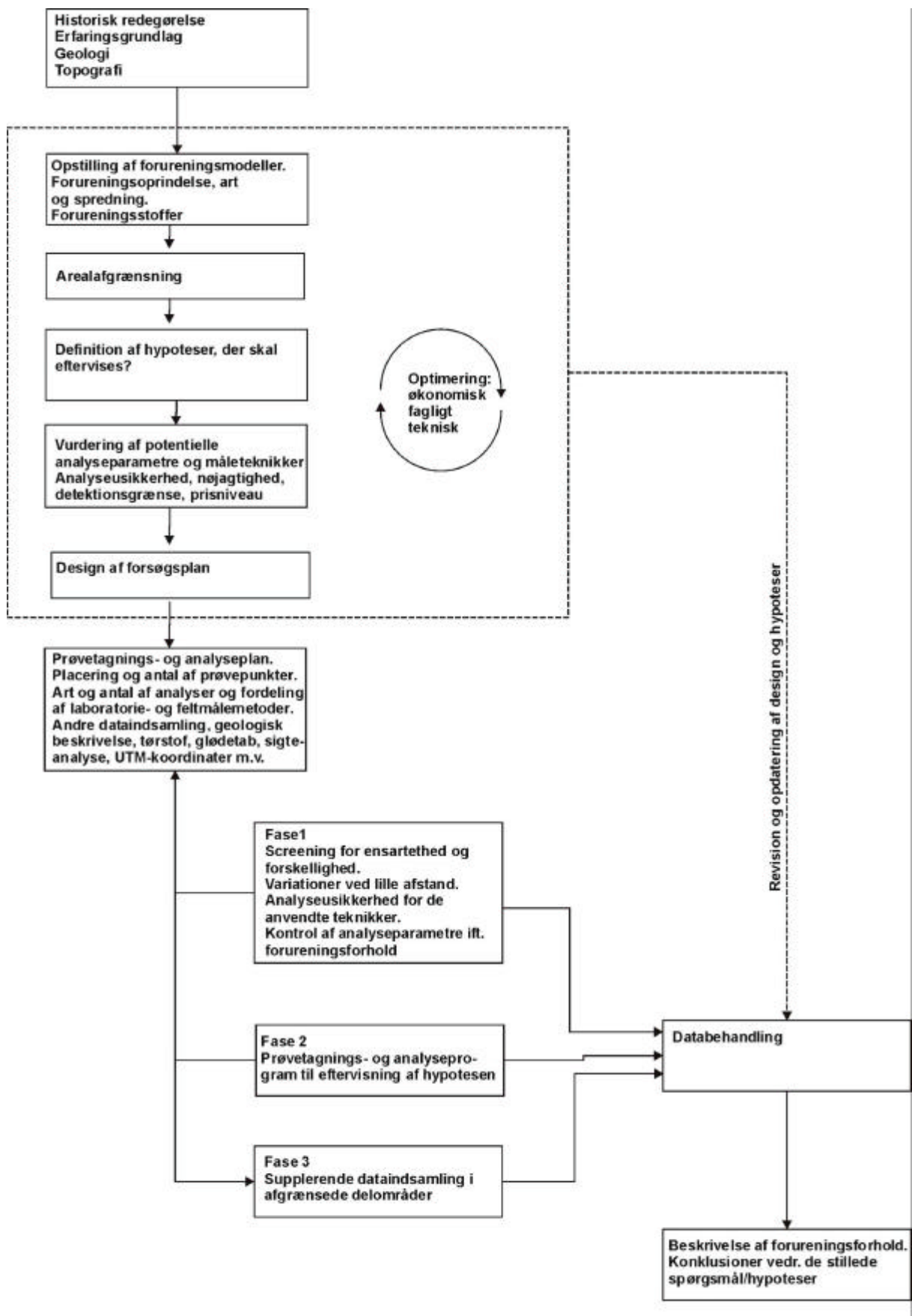
Undersøgelsen foretages på to forskellige vejarealer med følgende karakteristika:

- Vejene blev etableret for mindst 60 år siden.
- Vejene er i dag 4-sporede.
- Trafikhastigheden er 60 – 90 km/t.
- Trafikdensiteten er 20.000 - 48.000 biler/dag.

De to testarealer er følgende:

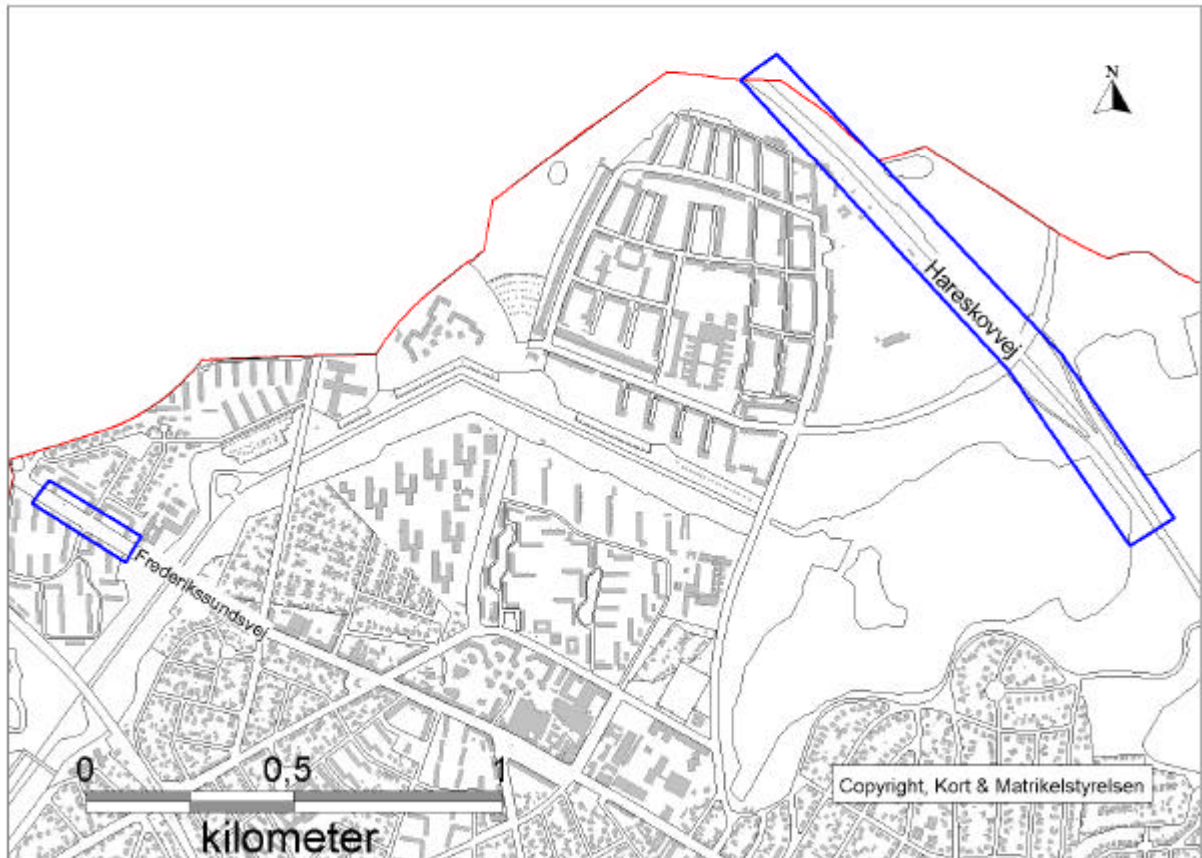
- Hareskovvejen: Strækningen gennem Utterslev Mose (1,5 km). Vejen er etableret i 1941. Årsdøgntrafikken var i 2001 48.000 biler/dag.
- Frederikssundsvej: Etapen mellem Vestvolden og kommunegrænsen (0,4 km). Vejen er etableret før 1900. Årsdøgntrafikken var i 2001 20.000 biler/dag

Testarealerne er vist på et oversigtskort i figur 2.2. Der er indsamlet oplysninger om vejdata samt om potentielle forurenende aktiviteter langs testarealet, herunder både punktkilder og diffuse kilder. Oplysninger om punktkilder, tidligere industrigrunde og områder med fyld- og lossepladser er indhentet fra Københavns Kommunes Miljøkontrol /4, 5, 6, 7/.



Figur 2.1 Systematiske trin i undersøgelsesstrategien  
*Systematic steps for the investigation strategy*





Figur 2.2 Oversigtskort over den fysiske placering af testarealerne i København  
 Overview showing the location of the test areas in Copenhagen

### Hareskovvej

<b>Vejbeskrivelse</b>	<p>Vejen er 2-sporet i begge retninger og adskilt af en midterrabat. På begge sider er vejen anlagt med rabat, asfalteret cykelsti og gangsti. Vejtracéet forbeholdt motorkøretøjer (dvs. ekskl. cykel- /gangsti og yderrabatter) er 16 m bredt.</p> <p>Ca. midt på strækningen mellem Høje Gladsaxevej og kommunegrænsen, er i det nordgående spor etableret en lokal kørebane og en parkeringsplads. Ud for Tingbjerg er der etableret buslomme i begge sider af vejen.</p> <p>På undersøgelsesstrækningen krydses Hareskovvejen af 2 veje: Mosesvinget og Høje Gladsaxevej-ruten. Der er af- og tilkørselsrampes til Høje Gladsaxevej.</p> <p>Vejvand anvendes til regnvandsbrønde i vejen.</p> <p>Der er udlagt slidlag på strækningen i 1975/76 samt i slutningen af 1980'erne. Der er ikke oplysninger om eventuelle tidligere udlægninger.</p> <p>Årsdøgntrafikken (biler) og den tunge trafiks (&gt;3,5 tons) procentdel heraf:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1950</th> <th>1960</th> <th>1970</th> <th>1980</th> <th>1990</th> <th>2000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Antal</td> <td>1.200</td> <td>11.500</td> <td>35.000</td> <td>35.000</td> <td>41.000</td> <td>48.000</td> </tr> <tr> <td>Tung %</td> <td>50 *)</td> <td>12 *)</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>5 **)</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>*) Usikker pga. datidens tællemetode. **)Anslået</p>							1950	1960	1970	1980	1990	2000	Antal	1.200	11.500	35.000	35.000	41.000	48.000	Tung %	50 *)	12 *)	6	5	5 **)	4
	1950	1960	1970	1980	1990	2000																					
Antal	1.200	11.500	35.000	35.000	41.000	48.000																					
Tung %	50 *)	12 *)	6	5	5 **)	4																					
<b>Historik</b>	<p>Hareskovvejen (tidligere Hovedvangen) er anlagt i 1941.</p> <p>Undersøgelsesstrækningen er beliggende i Utterslev Mose. På den nordvestligste del af strækningen støder boligområdet Tingbjerg op til vejen. Tingbjerg blev bygget i 1960'erne.</p> <p>Der findes ingen og har ikke tidligere været markante industrikvarterer i umiddelbar nærhed af undersøgelsesstrækningen.</p>																										

## Frederikssundsvej

<b>Vejbeskrivelse</b>	<p>Vejen er 2-sporet i begge retninger. På begge sider er vejen anlagt med rabat, cykelsti og fortov. Vejtracéet forbeholdt motorkøretøjer (dvs. ekskl. cykelsti, fortov og yderrabatter) er 13-17 m bredt. Der er parkeringslommer i begge sider af vejen på næsten hele strækningen.</p> <p>På undersøgelsesstrækningen krydses vejen af:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indkørsel til natparkeringsplads for lastbiler (østgående spor tæt på Vestvolden), henholdsvis indkørsel til Frederikssundsvej 378 (vestgående spor)</li> <li>• Åfløjen/Humblebjerg</li> <li>• Novembervej (vestgående spor), der er forbindelsesvej til Motorring 3's nordgående spor.</li> </ul> <p>Vejvand afvandes til regnvandsbrønde i vejen.</p> <p>Årsdøgntrafikken (biler), og den tunge trafik (&gt;3,5 tons) procentdel heraf, i kommunegrænsen (København/Herlev):</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1950</th> <th>1960</th> <th>1970</th> <th>1980</th> <th>1990</th> <th>2000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Antal</td> <td>4.000</td> <td>14.000</td> <td>20.000</td> <td>20.000</td> <td>20.000</td> <td>20.000</td> </tr> <tr> <td>Tung %</td> <td>41 *)</td> <td>16 *)</td> <td>9</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table> <p>*) Usikker pga. datidens tællemetode</p>							1950	1960	1970	1980	1990	2000	Antal	4.000	14.000	20.000	20.000	20.000	20.000	Tung %	41 *)	16 *)	9	6	6	7
	1950	1960	1970	1980	1990	2000																					
Antal	4.000	14.000	20.000	20.000	20.000	20.000																					
Tung %	41 *)	16 *)	9	6	6	7																					
<b>Historik</b>	<p>Frederikssundsvej er etableret før år 1900, men angiveligt ombygget ca. 1935. Umiddelbart syd for undersøgelsesstrækningen ligger boligkvartererne Banefløjen, Voldfløjen og Åfløjen, som blev opført i 1950'erne - tidligere var dette åbent land. Umiddelbart nord for undersøgelsesstrækningen ses et ældre villakvarter.</p> <p>Området er uden markant industri. Der er dog oplysninger om følgende tidligere erhvervsejendomme:</p> <p>Frederikssundsvej 375, matr.nr. 2nHU, er fra 1970-1988 registreret som jern og metalværksted, mekanisk industri, metallager og værksted. Herefter beboelsesejendom.</p> <p>Frederikssundsvej 378, matr.nr. 3iHU (ved Voldfløjen), er fra 1937-57 registreret som A/S Dr. A. Wander, ovomaltine fabrik og biscuitbageri. Fra 1957-70 er det registreret som Sundhedsstyrelsens strålehygiejniske laboratorium /4/.</p>																										

### 2.3 Meteorologiske data

I tabel 2.1 angives data fra DMI for temperaturen og nedbør ved målestationen i Københavns lufthavn i Kastrup, for årene 1961-1990.

Måned	Arlige gns. for min temp. °C	Gns. temp. °C	Arlige gns. max. temp. °C	Hyppigste vindretning	Nedbør mm	Antal dage med snedække
jan	-2,0	0,1	1,9	V 22	36	14
feb	-2,4	-0,1	2	V 18	24	11
mar	-0,6	2,0	4,8	V 18	34	6,8
apr	2,3	5,7	9,5	V 17	35	1,2
maj	6,5	10,9	15,0	V 16	40	0
jun	10,2	15,1	19,2	V 26	45	0
jul	11,9	16,4	20,4	V 33	57	0
aug	11,4	15,9	20,3	V 28	55	0
sep	8,6	12,6	16,7	V 30	53	0
okt	5,7	9,0	12,1	V 25	47	0
nov	1,9	4,56	7,1	SV/V 24	52	1,3
dec	-1,2	1,2	3,7	V 26	47	7,3

Tabel 2.1 Temperatur, vind og nedbør /8, 9/  
*Temperature, wind and rainfall*

Som det ses af tabel 2.1, er den hyppigste vindretning ved Københavns lufthavn, Kastrup, vestlig. I figur 2.3 vises en vindrose for alle 12 måneder af året for årene 1961-1990 /10/. En vindrose viser fordelingen af vindens retning og hastighed.

#### 2.4 Opstilling af forureningsmodeller

Den diffuse jordforurening langs hovedveje antages at kunne beskrives med

- en liniemodel, dvs. emissioner fra trafik og vejanlæg

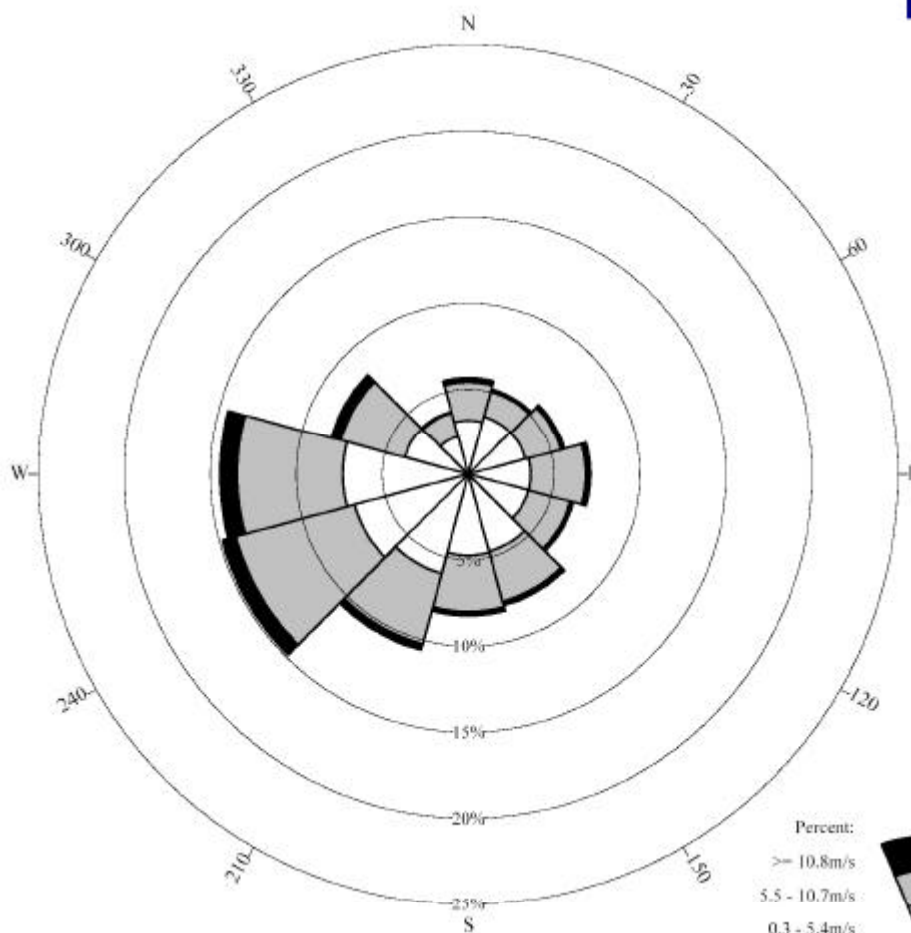
Det antages, at forureningen består af bly og andre tungmetaller, PAH, olie, pesticider, dioxiner, og evt. phthalater. Det antages, at forureningen aftager med afstanden fra vejen, og at det forureningspåvirkede areal strækker sig fra 0 til mindst 30 m fra vejrabatten. Ved større afstand antages forureningsniveauet alene at være bestemt af områdets øvrige diffuse kilder (kulturlag - bidragsmodel) /11/. Det antages, at jordforureningen aftager i dybden.

#### Baggrunds niveauer

Litteraturværdier for baggrunds niveauer i landområder er angivet i tabel 2.2, 2.3 og 2.4.

Station 06180  
KØBENHAVNS LUFTHAVN

01-01-1971 - 31-12-2000



	N	30	60	E	120	150	S	210	240	W	300	330	Total
%	5.7	5.2	5.8	7.1	6.3	7.9	8.2	10.6	14.8	14.4	8.2	3.8	98.1
% 0.3-5.4m/s	3.2	3.5	3.5	3.6	3.6	4.7	4.7	6.0	6.8	7.3	3.8	2.3	53.0
% 5.5-10.7m/s	2.3	1.5	2.1	3.2	2.5	3.0	3.3	4.2	7.2	6.1	3.9	1.4	40.7
% ≥ 10.8m/s	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.8	1.0	0.6	0.1	4.4
Mean wind speed	5.4	4.8	5.1	5.6	5.3	5.2	5.2	5.3	5.9	5.8	6.0	5.2	5.5
Max wind speed	20.0	17.0	17.0	17.0	18.5	19.5	16.5	20.6	21.6	23.7	19.0	17.0	23.7

Number of observations = 87579

Source: DMI

Calm defined as wind speed ≤ 0.2m/s

Number of observations with calm/varying wind direction: 1642 = 1.9%

Observations with calm/varying wind direction are not used in the statistics

Figur 2.3 Vindroser og statistik for Kastrup lufthavn - Kilde DMI [www.dmi.dk](http://www.dmi.dk) /10/.  
Wind direction and statistics for Kastrup airport – source DMI

	Landområder		
	Sandjorde	Lerjorde	Alle jorde
As	2,6	4,1	3,3
Pb	10,5	12,1	11,3
Cd	0,13	0,22	0,16
Cr	6,4	17,1	9,9
Cu	5,6	9,0	7,0
Hg	0,03	0,06	0,04
Zn	18,4	43,3	26,8
Ni	2,9	9,6	5,0

Tabel 2.2 Medianværdier for tungmetalkoncentrationer i danske landområder /14, 15/ (mg/kg TS).  
*Median values for heavy metals in Danish rural soils (mg/kg dw)*

	Landområder
PAH (sum af 7 PAH)	0,06- 0,6
Benzo(a)pyren (BaP)	0,01

Tabel 2.3 Skønnede referenceniveauer for PAH i jord /1/ (mg/kg TS).  
*Estimated reference levels for PAH (mg/kg dw).*

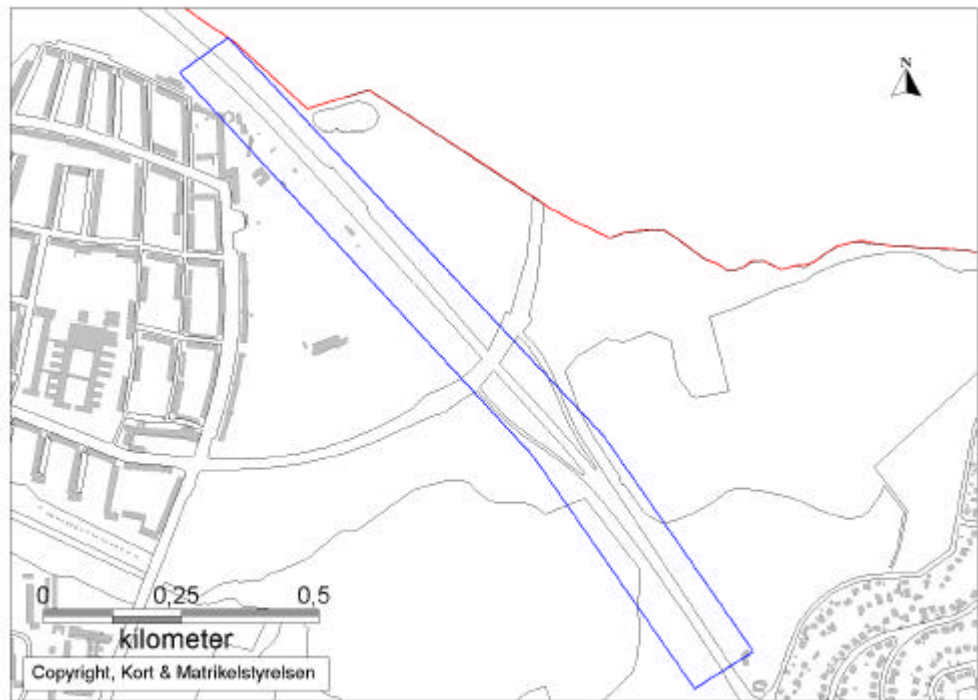
	Landområder	Byområder
Dioxin, ng- ITE/kg TS*	0,2 – 0,9 /16/	1-3 /16,18/
Sum af Phthalater	20- 60 /17/	1000 skøn/1/
DEHP, µg/kg TS	10-30 /17/	100 skøn/1/
PCB, µg/kg TS	0,1 – 0,4 /17/	10-200 /19,20/

\* ITE (NATO/CCMS) betyder internationale toksicitetsækvivalenter som defineret af NATO/CCMS.

Tabel 2.4 Skønnede referenceniveauer for organiske stoffer i jord.  
*Estimated reference levels for organic pollutants in soils*

## 2.5 Afgrænsning af testarealet

På basis af den tidligere erfaring /1/ med forurening langs veje er testarealet afgrænset til ca. 100 m til hver side af Hareskovvej, jf. figur 2.4. Testarealet langs Frederikssundsvej er på basis af erfaring med undersøgelsen langs Hareskovvej afgrænset til ca. 30 m til hver side af vejen, jf. figur 2.5.



Figur 2.4 Oversigt over testarealet langs Hareskovvejen  
*Overview of test area along Hareskov road*



Figur 2.5 Oversigt over testarealet langs Frederikssundsvej  
*Overview of test area along Frederikssund road*

## 2.6 Definition af hypoteser

Der er opstillet følgende hypoteser om relationerne mellem den diffuse jordforurening og forureningskilden.

Hypoteser om undersøgelsesstrategier:

1. Undersøgelsesstrategien (en statistisk sammenligning af prøvetagningsfelter og en visualisering af forureningsniveauerne over arealet) er en effektiv metode til at sikre et datagrundlag for kortlægning på Vidensniveau 2, dvs. en statistisk dokumentation for at jordkvalitetskriterier i topjord fra delområder er overskredet.
2. Anvendelsen af en feltteknik (røntgenfluorescens, EDXRF) forbedrer datagrundlaget for kortlægning på Vidensniveau 2.
3. Dataindsamling baseret på den anvendte prøvetagningsplan (antal af prøvepunkter) giver et tilstrækkeligt grundlag for kortlægning på Vidensniveau 2.
4. Dataindsamling baseret på den anvendte analyseplan (parametervalg og analysemetode) giver et tilstrækkeligt grundlag for kortlægning på vidensniveau 2.

Hypoteser om forureningsmodellen:

5. Diffus jordforurening kan beskrives ved en liniemodel, idet der er en sammenhæng mellem afstanden fra forureningskilden og indholdet af forureningskomponenter i topjorden (2-10 cm). Indholdet aftager med afstanden fra liniekilden, indtil en afstand, hvor forureningsniveauet alene vil afhænge af områdets øvrige diffuse kilder.
6. Forureningsniveauet aftager med dybden i jordlaget.
7. Indholdet af forureningskomponenter i jordlag på 0-5 cm (inkl. græstørv) i uberørt jord (jord, hvor der ikke graves, f.eks. græsarealer og ikke-dyrket jord) er højere end i de dybereliggende jordlag fra 2-10 cm.
8. Diffus jordforurening i større afstand fra vej kan beskrives ved en bidragsmodel, idet der her er et varierende og tilfældigt indhold af forureningskomponenter, såsom PAH og tungmetaller, i fyldlaget, dvs. der er ingen tendens til højere indhold i bestemte retninger.
9. Diffus jordforurening i større afstand fra vejen kan beskrives ved en bidragsmodel, idet der her er et højere indhold af forureningskomponenter, såsom PAH og tungmetaller, i fyldlaget i forhold til referenceværdierne for intakt jord.

Hypotese om arealspecifikke analyseparametre:

10. Foruden tungmetaller og PAH findes olie (totalkulbrinter), dioxiner, PCB, phthalater og pesticider som diffus jordforurening.
11. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af benzo(a)pyren (BaP), dibenzo(ah)anthracen (DiBahA) og summen af MST 7 PAH.
12. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af bly og zink.
13. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af cadmium og zink.
14. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af bly og BaP.
15. De kritiske forureningsparametre er identiske med parametre fra andre undersøgelser, nemlig BaP og bly.

## 2.7 Valg af analyseparametre og måleteknikker

Potentielle forureningsparametre er identificeret som arsen, bly, cadmium, chrom, kobber, nikkel, zink, PAH, oliedulbrinter, phthalater, PCB, dioxiner og pesticider.

Som indikatorparametre er udpeget tungmetallerne Pb, Cu, og Zn samt Miljøstyrelsens 7 PAH som er målt i alle prøver. De øvrige forureningsparametre er målt i et mindre antal prøver, se analyseplan i afsnit 2.10.

### Tungmetaller

Der er ønsket en vurdering af, om anvendelse af feltteknikken, EDXRF, til måling af As, Pb, Cr, Cu, Ni, og Zn er fordelagtig, hvad angår pris og effektivitet. Analyseusikkerheden er vurderet til 10 – 20 % ved EDXRF målinger for bly, kobber, nikkel og zink ved koncentrationer fra 40 - 200 mg/kg og genfindingen er omkring 70 - 150% /2/. Analyseusikkerheden og genfinding for arsen er derimod henholdsvis 48 % og 300 % ved lave koncentrationer (4 mg/kg). Analyseusikkerheden og genfinding for chrom er henholdsvis 96% og 300% ved lave koncentrationer (12 mg/kg)/2/.

As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, og Zn kan måles ved en ICP-analyseteknik, som typisk har en analyseusikkerhed på mindre end 15%. Hg kan måles ved en cold vapor teknik.

Detektionsgrænserne for de to teknikker er angivet i tabel 2.5.

	EDXRF (Teknologisk Institut) mg/kg TS	ICP (AnalyCen) mg/kg TS
Arsen	20	2
Bly	5	0,9
Cadmium	-	0,05
Chrom	10	0,2
Kobber	5	0,5
Nikkel	5	0,6
Zink	5	0,5

Tabel 2.5 Detektionsgrænser ved analyse af tungmetaller  
*Detection limits for the analysis of heavy metals*

### PAH

For analyse af Miljøstyrelsens 7 PAH (fluoranthen, benzo(b)fluoranthen, benzo(j)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, dibenz-(ah)anthracen and indeno(123-cd)pyren) kan der anvendes Miljøstyrelsens standardmetode, en GC-MS-SIM-teknik (jordprøven ekstraheres med toluen på rysteapparat i 16 timer). Analyseusikkerheden er angivet som mindre end 20%.

En række prøver ønskes analyseret for et udvidet antal PAH (27) samt 4 grupper af alkylerede PAH ( $C_3$ -phenanthrener,  $C_4$ -phenanthrener,  $C_2$ -dibenzothiophener og  $C_3$ -dibenzothiophener). Formålet er at vurdere PAH-sammensætningen i diffus jordforurening i forhold til PAH-kilden. Resultaterne skal desuden indgå i Miljøstyrelsens projekt om baggrundsniveauer for PAH i jord.

I /21/ er der indsamlet litteratur vedrørende PAH-sammensætning i forhold til PAH-kilder. Der er peget på visse PAH-forbindelser og indikatorer, som kan benyttes til vurdering af kilden. Bl.a. nævnes det, at methylerede PAH stammer fra olieprodukter, at reten (7-isopropyl-1-methyl-phenanthren) er en specifik indikator for afbrænding af nåletræ, og at coronen, anthanthren og benzo(ghi)perylene dannes i forbrændingsmotorer. Der er anvendt følgende fire indikatorer:



- Alkylphenanthrener/Phenanthren (Alkylphen/Phen) Høj ved emission fra trafik
- Benzo(ghi)perylene/Benzo(a)pyren (BghiP/BaP) Høj ved emission fra trafik
- Coronen/Benzo(a)pyren (Coronen/BaP) Høj ved emission fra trafik
- Reten/Dibenz(ah)anthracen (Reten/DiBahA) Høj ved forbrænding af nåletræ

Den udvidede analyse for PAH kan udføres ved en GC-MS-SIM teknik (jordprøven ekstraheres med acetone/pentan ved behandling på ultralydsbad i 5 min. og rysteapparat i 2 timer). Analyseusikkerheden er angivet som mindre end 15%.

Detektionsgrænserne er vist i tabel 2.6.

	GC-MS-SIM (AnalyCen) mg/kg TS	GC-MS-SIM (Eurofins) mg/kg TS
enkelt PAH	0,005	0,001-0,005

Tabel 2.6 Detektionsgrænser for organiske parametre  
*Detection limits for the analysis of organics*

### Olie

For analyse af benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og totalkulbrinter er anvendt Miljøstyrelsens standardmetode ved GC-FID (jordprøven ekstraheres med pentan efter ekstraktion på rysteapparat i 16 timer). Analyseusikkerheden er angivet som mindre end 20%. Detektionsgrænserne er vist i tabel 2.7.

	GC-FID (AnalyCen) mg/kg TS
BTEX	0,1
C <sub>6</sub> -C <sub>10</sub>	5
C <sub>11</sub> -C <sub>25</sub>	10
C <sub>26</sub> -C <sub>35</sub>	25
C <sub>36</sub> -C <sub>45</sub>	25

Tabel 2.7 Detektionsgrænser for organiske parametre  
*Detection limits for the analysis of organics*

### PCB og Phthalater

Indholdet af PCB og phthalater er målt ved en GC-MS-SIM teknik (jordprøven ekstraheres med acetone/pentan ved behandling på ultralydsbad i 5 min og rysteapparat i 2 timer). Analyseusikkerheden er angivet som mindre end 15%. Detektionsgrænserne er vist i tabel 2.8.

	GC-MS (Eurofins) µg/kg TS
Phthalater	25-50
PCB	5

Tabel 2.8 Detektionsgrænser for organiske parametre  
*Detection limits for the analysis of organics*

## Dioxiner

Indholdet af dioxiner (polychlorerede dibenzofurans og dibenzodioxins) er målt ved GC/MS-SIM teknik. Detektionsgrænser er vist i tabel 2.9.

	GC-MS ng /kg TS
Dioxiner	1-10

Tabel 2.9 Detektionsgrænser for dioxiner  
*Detection limits for the analysis of dioxins*

## Pesticider

Pesticider (Atrazin, DDT +DDE +DDD, Dichlobenil, Dieldrin, Lindan, Malathion, Parathion, Simazin) er målt ved GC-MS-SIM. Analyseusikkerheden er mindre end 15%. Detektionsgrænser er vist i tabel 2.10.

	GC-MS (Eurofins) µg/kg TS
Pesticider	5

Tabel 2.10 Detektionsgrænser for organiske parametre  
*Detection limits for the analysis of organics*

## 2.8 Design af forsøgsplan

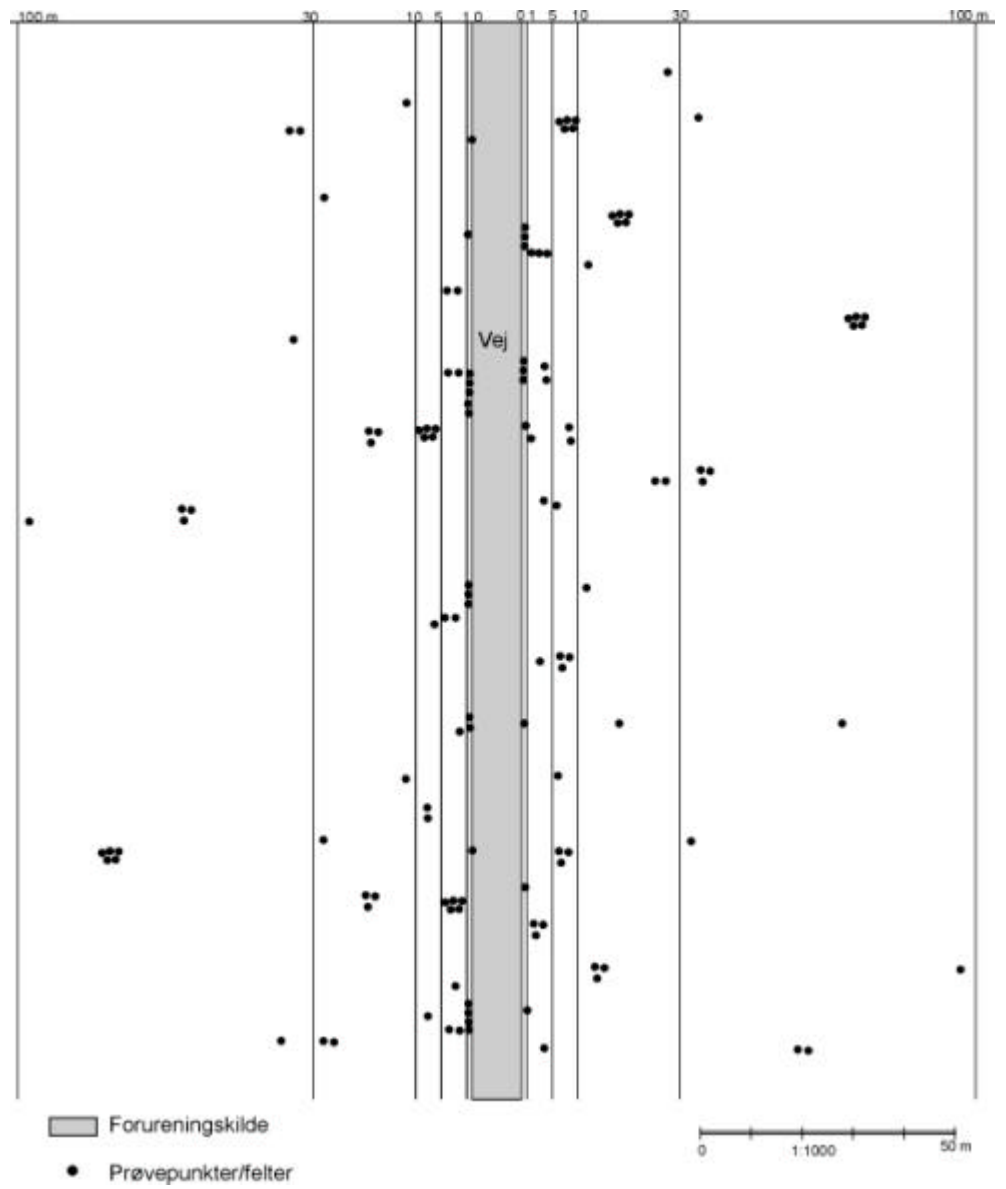
Liniemodellen forudsætter at forureningsniveauet i prøvetagningspunkter langs de to testarealer aftager med afstanden fra vejen og i dybden. Det antages at det forureningspåvirkede areal strækker sig fra 0 til mindst 30 m fra vejrabatten. Det antages at prøvetagningsfelter i samme afstand til vejen vil være sammenlignelige, men at der vil være en vis variation på grund af mikrovariation i jordmediet, dyrkning af jorden (græs eller bede langs veje) samt lokale jordudskiftning (anlægsarbejde, vedligeholdelsesarbejde, afhøvling af rabatjord).

Til dokumentation af forureningsniveauet og afhængighed af afstand fra vejen udtages derfor en række prøver fra prøvetagningsfelter placeret med forskellige afstand fra vejen som illustreret i figur 2.6. Afstandsintervaller opdeles i 5 zoner A - E og i forbindelse med prøvetagning er positioner indmålt med GPS således at den nøjagtige afstand til vejen kan måles.

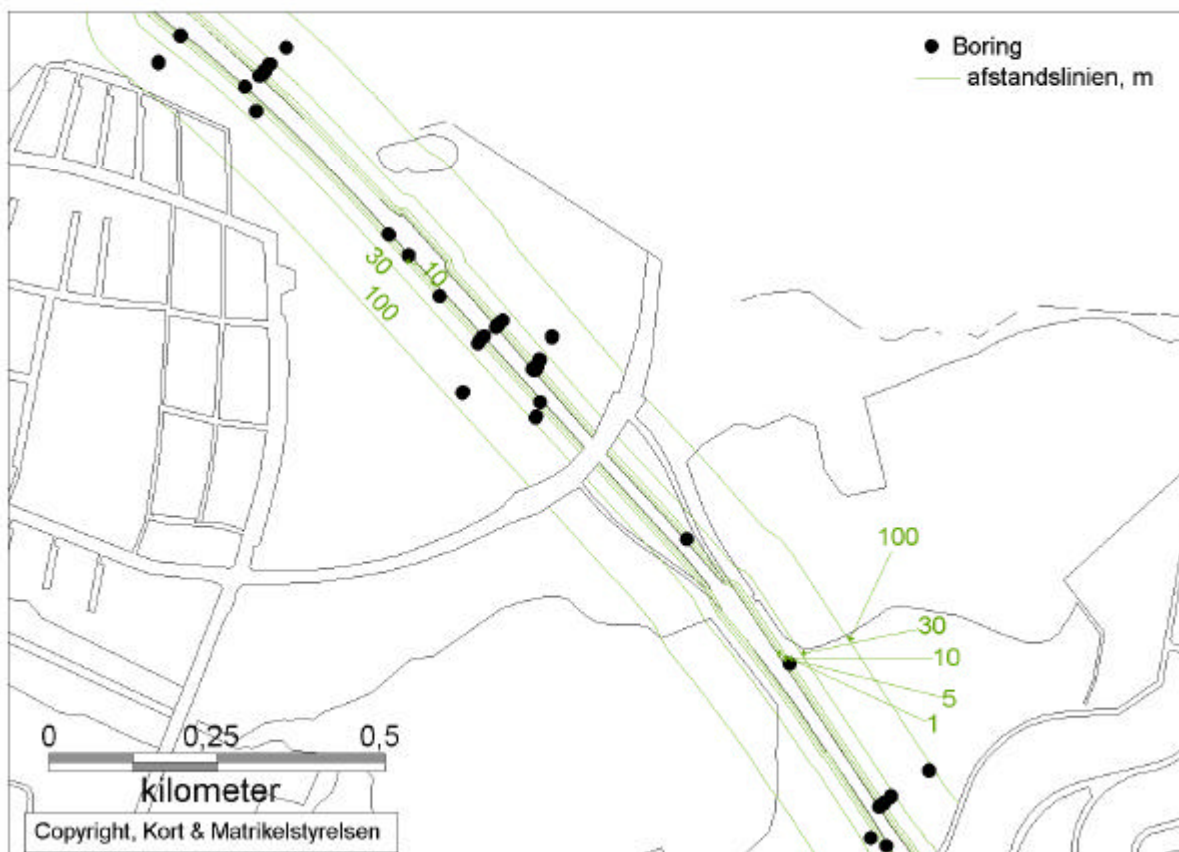
- A 0 - 2 m
- B 2 - 5 m
- C 5 - 10 m
- D 10 - 30 m
- E 30 - 100 m

I zone E og evt. D kan der være bidrag til den diffuse jordforurening fra andre kilder herunder kulturlag i boligområderne (bidragsmodellen). De aktuelle prøvetagningspunkter i relation til afstanden fra rabatten er vist i figur 2.7.

Til kontrol af mikrovariation udtages mellem 1- 5 prøver i prøvetagningsfelter på 4 m<sup>2</sup> (2 x 2m), jf. figur 2.6 og 2.7.



Figur 2.6 Skitse over koncept for placering af prøvetagningsfelter  
 Sketch showing concept for sampling areas



Figur 2.7 Placering af prøvetagningsfelter iht. afstand langs Hareskovvej  
*Sampling position related to distance from hard shoulder*

For at bestemme variationerne i dybden udtages der prøver i forskellige dybder, som følger:

0 - 5	cm	Jordoverfladen inkl. græstørv
2 - 10	cm	Jordlag under græstørv, som typisk antages at være repræsentative ved vurdering af risiko for hudkontakt.
20 - 30	cm	Repræsenterer anvendelsesdybden
45 - 55	cm	Repræsenterer anvendelsesdybden
95 - 105	cm	Til afgrænsning af forurening

Dog udtages flest prøver i 2 - 10 cm's dybde, dvs. jordlaget, hvor risikoen for eksponering er højst. I resultatoversigten benævnes prøverne i forhold til dybden, f.eks.:

- 0,05 m's dybde
- 0,1 m's dybde
- 0,3 m's dybde
- 0,55 m's dybde
- 1,05 m's dybde

Afstanden mellem prøvetagningspunkterne i et prøvetagningsfelt er altid mellem 0,5 - 2 m. Prøvetagningsfelterne placeres i forskellige afstande fra vejen 1-100 m.

Forureningsmodellen antages, at forureningsniveauet inden for en zone, f.eks. zone A er sammenligneligt (ens). Det vil sige, at indholdet i jordprøver fra

samme dybde i hvert delområde bør være repræsenteret af en gennemsnitsværdi, en medianværdi, en variationskoefficient og et konfidensinterval for den sande gennemsnitsværdi.

I alle prøver måles indikatorparametre og der udvælges passende prøver til analyse for de øvrige parametre. Den detaljerede prøvetagnings- og analyseplan udarbejdes på grundlag af besigtigelsen og retningslinierne i forsøgsplanen.

## 2.9 Prøvetagningsplanen

### Besigtigelse

På grundlag af kortmaterialet, det historiske materiale og forsøgsplanen er der udarbejdet et forslag til prøvetagningspositioner, jf. figur 2.6. Herefter er der foretaget en besigtigelse, og positionerne er justeret i henhold til observationer og adgangsforhold.

### Antal af prøvetagningspunkter - Hareskovvej

I tabel 2.11 angives forslag til antal af prøvetagningsfelter og jordprøver langs Hareskovvejen.

Afstand fra vejkant	A 0-2 m	B 2-5 m	C 5-10 m	D 10- 30 m	E 30-100 m
Afstand i dybden					
0-5 cm 's dybde (inklusive græstørv)	2 felter (4 pkt.)	2 felter (3 pkt.)	2 felter (5 pkt.)	2 felter (3 pkt.)	6 felter (8 pkt.)
2-10 cm 's dybde	9 felter (16 pkt.)	10 felter (17 pkt.)	9 felter (15 pkt.)	9 felter (15 pkt.)	5 felter (11 pkt.)
20-30 cm 's dybde	3 felter (6 pkt.)	2 felter (4 pkt.)	3 felter (6 pkt.)	2 felt (4 pkt.)	1 felt (1 pkt.)
45-55 cm 's dybde	3 felter (6 pkt.)	2 felter (4 pkt.)	3 felt (4 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)
95-105 m 's dybde	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)
Antal af håndboringer (pkt.)	16	17	15	15	11
Antal af jordprøver	33	29	31	24	22

Tabel 2.11 Prøvetagningsplan for Hareskovvejen

De trafikale forhold langs testarealet er ens, og derfor forventes forureningsbelastningen langs vejstrækningen at være ens. Prøvetagningsfelterne placeres i forskellig afstand til hver side af vejen. Tæt på vejrabatten forventes ændringerne i forureningsniveauerne at være målbare over afstande på få m. Derfor undersøges udvalgte prøvetagningsfelter intensivt tæt på vejen, mens andre prøvetagningsfelter er screenet med et mindre antal prøvetagningspunkter. De prøvetagningsfelter, som undersøges intensivt, forventes at være repræsentativ for delområder i samme afstand og dybde.

Der placeres ingen prøvetagningsfelter i boligområdet ved Tingbjerg, da dette undersøges i forbindelse med diffus forurening og kulturlaget /11/.

### Antal af prøvetagningspunkter - Frederikssundsvej

På baggrund af resultaterne fra Hareskovvejen er prøvetagningsplan for Frederikssundsvejen revideret og der er kun udtaget prøver fra zone A- D og 0- 55 cm 's dybde, jf. tabel 2.12.

Afstand fra vejkant	A 0-2 m	B 2-5 m	C 5-10 m	D 10- 30 m	E 30-100 m
Afstand i dybden					
0-5 cm ´s dybde (inklusive græstørv)	2 felter (3 pkt.)	2 felter (4 pkt.)	2 felter (3 pkt.)	2 felter (3 pkt.)	
2-10 cm ´s dybde	3 felter (4 pkt.)	5 felter (13 pkt.)	3 felter (8 pkt.)	3 felter (7 pkt.)	
20-30 cm ´s dybde	1 felter (1 pkt.)	2 felter (2 pkt.)	1 felter (1 pkt.)	1 felt (2 pkt.)	
45-55 cm ´s dybde	1 felter (1pkt)	2 felter (2 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	1 felt (1 pkt.)	
95-105 m ´s dybde					
Antal af håndboringer (pkt.)	4	13	8	7	
Antal af jordprøver	9	20	13	13	

Tabel 2.12 Prøvetagningsplan for Frederikssundsvej

Der placeres ingen prøvetagningsfelter i boligområderne ved Banefløjen, Voldfløjen og Åfløjen, da disse undersøges i forbindelse med diffus forurening og kulturlag /11/.

## 2.10 Prøvetagningsarbejde

Et feltteam bestående af to personer har udført borearbejde, prøvetagning, feltobservationer, indmåling og feltdokumentation.

Jordprøverne er tilstræbt udtaget i jord, hvor der ikke jævnlige foretages jordarbejder, f.eks. i græsplæner, men ikke i bede.

Prøvetagningen i hver felt er dokumenteret på et feltkort og observationer er noteret i en standard feltjournal med:

- lokalitetsnavn
- dato
- initialer på feltfolk
- skitse af prøveudtagningsstedet med felt- og boringsnr.
- indmåling af UTM koordinater i forhold til referencepunkt (hvis GPS-måling umulig)
- prøvetagningsfelternes indbyrdes beliggenhed
- antal boringer/felt
- antal prøver/boring
- dybde for prøveudtagningen

Herudover er der noteret observationer vedrørende:

- afstande til trafik (tilladt hastighed)
- vejkryds
- busstoppested

- jernbaner
- belægningsmateriale som asfalt, jernbanesveller, grus, bede, krat

Herudover er der i feltjournalen udført en geologisk beskrivelse af den opborede jord.

Jordprøverne er udtaget med et håndbor ved at jorden fjernes indtil toppen af den ønskede jordprofil, hvorefter håndboret renses for jorden. Der er herefter udtaget en 10 cm jordprofil som én jordprøve. Brug af et karteringsspyd ville sandsynligvis give et mere præcist geologisk profil, men prøvetagningsmængden ville være alt for lille i forhold til analysebehovet. Endvidere kan man ved brug af håndbor fornemme fremmede genstande, mens der med et kvarteringsspyd er en risiko for at banke spyddet igennem ledninger m.v. hvis disse ikke er meget præcist angivet på ledningsplanerne.

Prøvetagningspunkter er indmålt ved en GPS-5700 med en nøjagtighed på 10 mm vandret og 20 mm lodret. Koordinator er angivet i system 34 Sjælland og terrænkote i DNN. GPS-målingerne er foretaget i forhold til signal fra ca. 6 – 8 satellitter. Signalet er dog svagt på visse tidspunkter om dagen. Disse tidspunkter kan i forvejen aflæses i en web-almanak /22/. Der kan desuden være forstyrrelser ved målinger tæt på høje bygninger eller under høje træer. Det anbefales derfor, at indmåle enkelte referencepunkter med GPS, så baggrundskort og indmålte boringer kan vurderes i forhold til hinanden. GPS-målingerne bør i øvrigt foretages i det koordinatsystem, som grundkortet findes i, da omregninger mellem de forskellige koordinatsystemer vil øge usikkerheden.

Hver jordprøve har fået et entydigt prøvenr. bestående af lokalitetens ID-Zone, ID-felt nr.-boringsnr. og en dybdeangivelse. Alle jordprøver er udtaget i rilsanposer, lagt i køletasker og transporteret til miljølaboratoriet (NIRAS), hvor der er målt PID og foretaget en geologisk beskrivelse. Der er udtaget delprøver til de forskellige analyser. Prøveemballage er fremsendt af analyselaboratorierne og bestod af redcap-glas til olie- og PAH-analyse iht. Miljøstyrelsens standardmetoder, teflonkopper til EDXRF-analyse, plastposer til tungmetalanalyse med ICP og tørstofbestemmelse samt rilsanposer til udvidet PAH-, PCB-, phthalat-, pesticid- og dioxinanalyser.

## 2.11 Analysearbejde

### **PID, pH, tørstofindhold og organisk indhold**

For alle jordprøver er jordarten beskrevet og der er målt tørstofindhold, glødetab og PID-udslag (udslag målt med en Photoionisation-detektor, der giver udslag ved flygtige forureninger).

### **Tungmetaller**

Alle prøver fra prøvetagningsfelterne er analyseret for As, Pb, Cr, Cu, Ni og Zn (uden anden forbehandling end tørring, jf. konklusionerne i /2/) med en feltteknik (Røntgenfluorescens teknik - EDXRF) hos Teknologisk Institut i Århus.

Tungmetallindholdet er herefter kontrolleret i ca. 10 – 20% af prøverne ved en akkrediteret ICP-analyseteknik (induktivt koblet plasma) hos AnalyCen, hvor der desuden er målt for Cd.

## PAH

Alle jordprøver er analyseret for sum af MST 7 PAH (polycykliske aromatiske hydrocarboner) ved Miljøstyrelsens standardmetode med en GC-MS-SIM teknik (gaschromatografi med masse spektrometri og selektiv ion monitoring) hos AnalyCen.

Til vurdering af PAH-sammensætningen er en række prøver (ca. 20% af prøverne i 2-10 cm's dybde) analyseret for et udvidet antal af PAH (27) samt 4 grupper af alkylerede PAH ( $C_3$ -phenanthrener,  $C_4$ -phenanthrener,  $C_2$ -dibenzothiophener og  $C_3$ -dibenzothiophener). Analysen er udført hos Eurofins ved en GC-MS-SIM-teknik

## Olie

En række prøver (ca. 10% af prøverne udtaget i 2-10 cm's dybde) er analyseret for oliekulbrinter hos AnalyCen, og der er foretaget en vurdering af muligheden af, at prøverne har et naturligt indhold af kulbrinter, PAH m.v.

## Phthalater, PCB, dioxin og pesticider

Ca. 3 - 10% af prøverne er analyseret for phthalater (dimethylphthalat, diethylphthalat, di-n-butylphthalat, butylbenzylphthalat, DEHA, DEHP, di-iso-nonylphthalat og di-n-octylphthalat) og PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 153, CB 138, CB 180). Analyserne er udført ved GC-MS-SIM hos Eurofins (i ekstraktet fra en udvidet PAH-analyse). Desuden er ca. 3 - 5% af prøverne analyseret for dioxiner (polychlorerede dibenzofuraner og dibenzodioxiner). Denne analyse er udført ved GC-MS-SIM hos GfA Gesellschaft für Arbeitsplatz- und Umweltanalytik mbH, Tyskland.

Et mindre antal prøver (8 stk.) analyseret for pesticider (Atrazin, DDT +DDE +DDD, Dichlobenil, Dieldrin, Lindan, Malathion, Parathion, Simazin) ved GC-MS-SIM hos Eurofins.

## Kvalitetsmålinger

Der er udført nogle få analyser for tungmetaller, PAH og PCB på referencejord (standard). Der er ved udførelse af dobbeltbestemmelse på delprøver fra samme homogeniserede jordprøve foretaget en vurdering af analyseusikkerheden for målinger af tungmetaller med EDXRF og ICP samt for Miljøstyrelsens 7 PAH ved GC-MS-SIM.

## 2.12 Databehandling: Deskriptiv statistik

Den deskriptive statistik giver et overblik over forureningsniveauet for de enkelte områder som helhed, men siger ikke noget om rumlige (spatielle) tendenser (f.eks. om forureningsniveauet aftager i en vis retning), som analyseres særskilt. Der henvises til lærebøger om statistisk for en uddybende beskrivelse på de anvendte teknikker /23/.

Resultaterne fra udvalgte parametre i hver zone præsenteres med følgende parametre: Minimum, maksimum og gennemsnit samt koncentrationerne som repræsenterer 10%, 25%, 50% (medianværdien), 75% og 90% datafraktiler. Resultaterne afrundes til to betydende cifre i oversigtstabellerne.

## Fraktiler

Ved beregning af fraktilværdier i oversigtstabellerne returneres kun målte værdier, hvis rangordenen svarer til de ønskede fraktiler, ellers interpoleres



mellem de to værdier til hver side. Beregningen for den "k'te" fraktil på "n" antal datapunkter udføres som følger:

Hvis k er et multiplum af 1/(n-1), angives en værdi for fraktilen svarende til en målt værdi, svarende til den ønskede k'te fraktil.

F.eks. vil 0,25 fraktil for 9 datapunkter svare til det tredje datapunkt, 0,375 fraktil = 4. datapunkt, 0,5 fraktil = 5. datapunkt, 0,75 fraktil = 7. datapunkt.

I modsat fald interpoleres en værdi mellem de to nærmeste værdier.

F.eks. vil 0,8 fraktil svare til en værdi mellem 7. og 8. datapunkt

Ligeledes anvendes ved beregning af en medianværdi en interpoleret værdi for datasæt med et lige antal datapunkter. Det vil sige, at et datasæt opfattes som et kontinuum. I /23/ er der redegjort for nødvendigheden af interpolation, samt beregningsprocedurer, såfremt der ikke findes en "unik" værdi. Dette er ikke problematisk, hvis der er mange datapunkter, men mindre tilfredsstillende ved få data. Derfor vises ved mindre end 7 data alene min., max., medianværdien og evt. gennemsnittet.

Desuden illustreres udvalgte analyseparametre som fraktilplot, hvor hvert datapunkt plottes som en fraktil, jf. /23/. På fraktilplottet kan der aflæses, hvilket datapunkt (X), der svarer til f.eks. 0,80 fraktil. Dette betyder, at 80% af dataene har koncentrationer svarende til eller er mindre end X. Fordelen ved et fraktilplot er, at alle datapunkter er vist, og figurens udseende herunder datafordelingen er uafhængig af koncentrationsintervaller (som f.eks. ved histogrammer).

#### Data under detektionsgrænser

Der er anvendt forskellige analysemetoder med forskellige detektionsgrænser, jf. tabel 2.5–2.10. Dette har dog ikke betydning, hvis resultaterne er væsentligt større end detektionsgrænserne, men er problematisk ved arsen, chrom og nikkel. Koncentrationsniveauerne for disse metaller i testarealer er typisk omkring eller under detektionsgrænsen for EDXRF-metoden, mens de ligger over detektionsgrænsen for ICP-metoden. Resultaterne for disse metaller er derfor vist særskilt for de to analysemetoder.

I /23/ angives, at hvis 15% af dataene er under detektionsgrænsen, kan der anvendes en værdi svarende til

- den halve af detektionsgrænsen,
- detektionsgrænsen
- eller en passende lav værdi.

Hvis 15-50% af dataene er under detektionsgrænsen, kan der overvejes en datahåndtering, hvor der fjernes data fra begge ender af fordelingen. I så fald er der behov for en større datamængde og en symmetrisk fordeling. Såfremt 50 - 80% af dataene er under detektionsgrænsen, bør det overvejes at anvende andre parametre til beskrivelse af dataene, f.eks. 0,75 fraktil.

Af hensyn til databehandlingen skal det generelt bemærkes, at resultater under detektionsgrænsen angives med en værdi svarende til det halve af detektionsgrænsen.

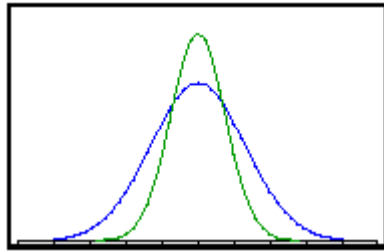
### Gennemsnit

Metoden til håndtering af data under detektionsgrænsen har betydning ved beregning af gennemsnitsværdien. I oversigtstabellerne er der derfor kun vist en værdi for gennemsnittet, hvis 85% af resultaterne er over detektionsgrænsen. I modsat fald er der kun vist minimum, maksimum og medianværdien.

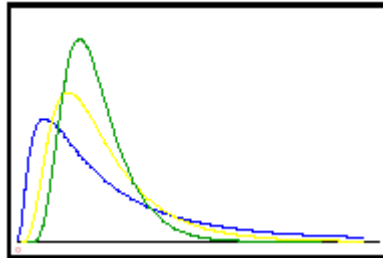
Medianværdien vil være upåvirket af data under detektionsgrænsen, hvis den ligger over detektionsgrænsen, men for at undgå misvisende fraktilværdier i oversigtstabellerne, anvendes betegnelsen "i.p." for resultater under detektionsgrænsen. Parametre med værdier under detektionsgrænserne er typisk chrom, nikkel og arsen samt enkelte PAH.

### Datafordeling og betydning ved databehandling

Hvis et sæt prøver repræsenterer punkter fra en normalfordeling, kan resultaterne beskrives ved gennemsnittet og variansen (symmetrisk spredning af data på hver side af gennemsnittet). Et sæt prøver fra en normalfordeling vil i praksis være begrænset til en endelig størrelse og vil derfor være t-fordelt. Histogrammerne for en normalfordeling med en stor varians vil være bedre end en fordeling med en lille varians som illustreres i figur 2.8



Figur 2.8 Histogrammer for to normalfordelinger med hhv. en stor og lille varians  
*Histograms showing two normal distributions with a large and a small variance*



Figur 2.9 Histogrammer for lognormalfordelinger  
*Histogram showing log normal distributions*

Miljødata viser derimod ofte en asymmetrisk fordeling af værdier med en lang hale til højre på fordelingen (høje værdier), jf. figur 2.9. Dette betyder, at forudsætningen for mange statistiske standard tests ikke er opfyldt. Da funktionen  $Y = \ln(X)$  for lognormale data er normalfordelt, kan en logaritmetransformation af værdierne betyde, at dataene bliver tilnærmelsesvis normalfordelte. En sådan transformation er nødvendigt, hvis der skal anvendes statistiske tests eller geostatistiske databehandlinger, idet disse forudsætter, at dataene er normalt fordelt, bl.a. ved beregning af gennemsnit og konfidensinterval for dette.

I alle datatabeller vises dog gennemsnittet, selv om forudsætningen om en normalfordeling ikke nødvendigvis er opfyldt. Hvis gennemsnittet og 0,5 fraktil (medianværdien) er forskellige, er der tale om en asymmetrisk fordeling

- hvis der f.eks. findes høje værdier, vil gennemsnittet være højere end median.

Hvis dataene er normalfordelte (symmetriske omkring gennemsnittet), vil et fraktilplot have en S-form med en relativt flad sektion i midten. Derimod vil en stor spredning i koncentrationsniveauet betyde, at kurven stiger brat. Hvis dataene er asymmetriske med en lang hale (høje værdier) til højre ses en stejl stigning i den øverste højre del af kurven i forhold til den nederste venstre del.

Miljødata kan dog også være anderledes fordelt, og man skal være opmærksom på dette, hvis forskellige datasæt skal sammenlignes.

Udover tabellerne med deskriptiv statistik og fraktilplot er der i kap. 4 desuden foretaget en analyse af datafordelingen. Til databehandlingen er anvendt forskellige værktøjer fra Excel og **R** (**R** er statistiske og grafiske værktøjer udviklet ved Bell Laboratories som "open source" og kan gratis downloades fra Internettet, <http://www.r-project.org/>). Kun resultater og særlig interessante figurer er inkluderet i rapporten.

Det er analyseret, om dataene er normalfordelte ved at udarbejde en normal-Q-Q-plot. Data er plottet i forhold til fraktilerne i en normalfordeling. Dette svarer til at plote data på normalfordelingspapir. Her er blot anvendt teoretiske variabler i en standard normalfordeling som x-akse frem for fraktilerne. Disse akser er lineære og kan bedre håndteres af et elektronisk medie. For en ideel normalfordelt variabel vil punkterne ligge på en ret linie. For hvert plot er angivet den bedst tilpassede linie. Ekstreme afvigende værdier eller såkaldte "outliers" kan identificeres ved deres beliggenhed langt fra denne linie. Et sample fra en normalfordeling vil i praksis være begrænset til en endelig størrelse, og vil derfor være t-fordelt og udgøre en svag s-form i plottet. En udpræget s-form betyder imidlertid, at fordelingen har længere haler end normal- eller t-fordelingen. En U-form betyder, at fordelingen er skæv i forhold til en normal- eller t-fordeling.

#### Korrelation mellem parametre

Pearsons korrelation,  $R$ , mellem de enkelte parametre indikerer, om der er et lineært forhold mellem to parametre, hvor en positiv værdi på 1 betyder et perfekt positivt lineært forhold (begge parametre vokser) og en negativ værdi på  $-1$  betyder et perfekt negativt lineært forhold (en parametre aftager, mens den anden vokser). En værdi tæt på 0 betyder, at der ingen korrelation er mellem parametre. Pearsons korrelation forudsætter normalfordelte data.

Følgende beskrivelser i tabel 2.13 er anvendt i forbindelse med databehandling:

R	Beskrivelser
$>0,87$	God korrelation
$0,71 - 0,87$	Rimelig korrelation
$0,5 - 0,71$	Tvivlsom korrelation*
$<0,5$	Ingen korrelation*

\* Der kan stadig være en sammenhæng, men denne kan ikke belyses pga. utilstrækkelig datamængde

Tabel 2.13 definition af beskrivelser ved korrelationsanalyse  
*Definition of description of degree of correlation*



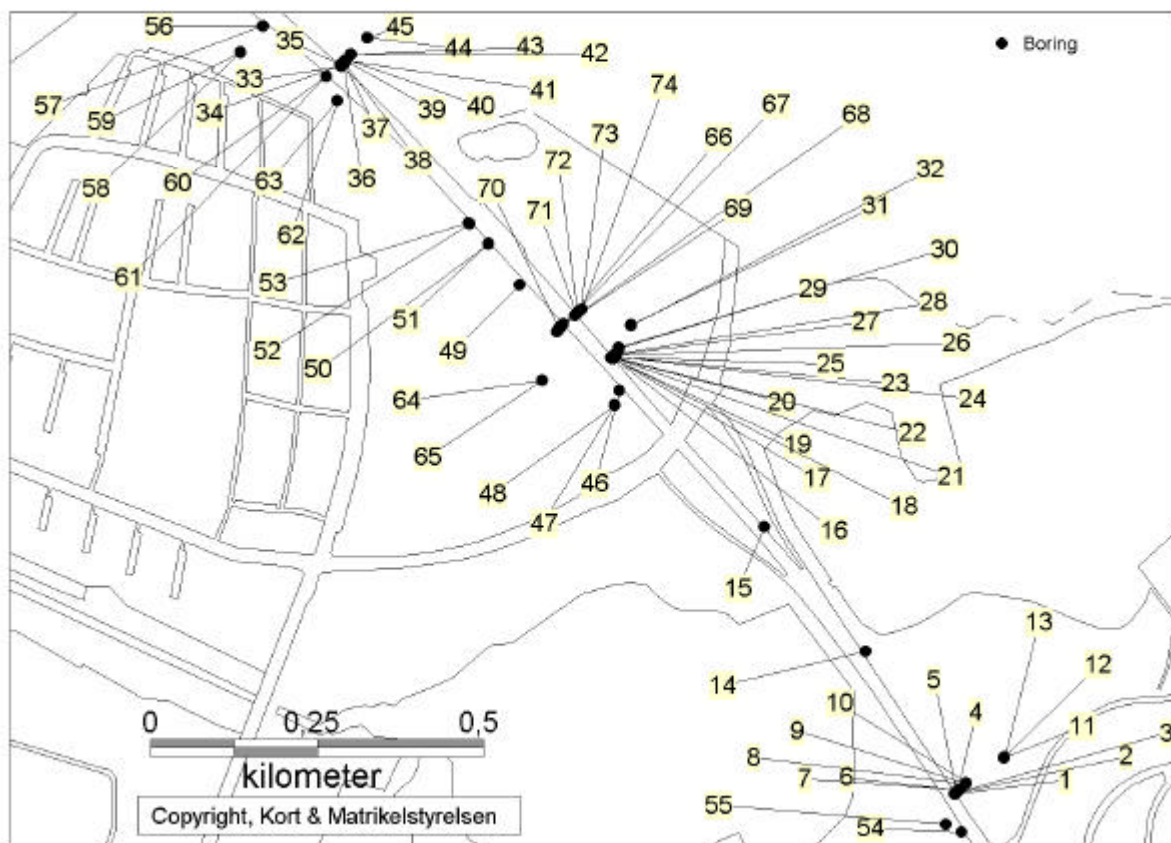
## 3 Resultater og databehandling

### 3.1 Prøvetagning

Jordbunden er beskrevet sammen med feltobservationer i forbindelse med prøvetagningen. Prøverne er udtaget i april (Hareskovvej) og august (Frederikssundsvej) 2002. Prøvetagningspunkterne er indtegnet på figur 3.1 og 3.2.

#### Hareskovvej

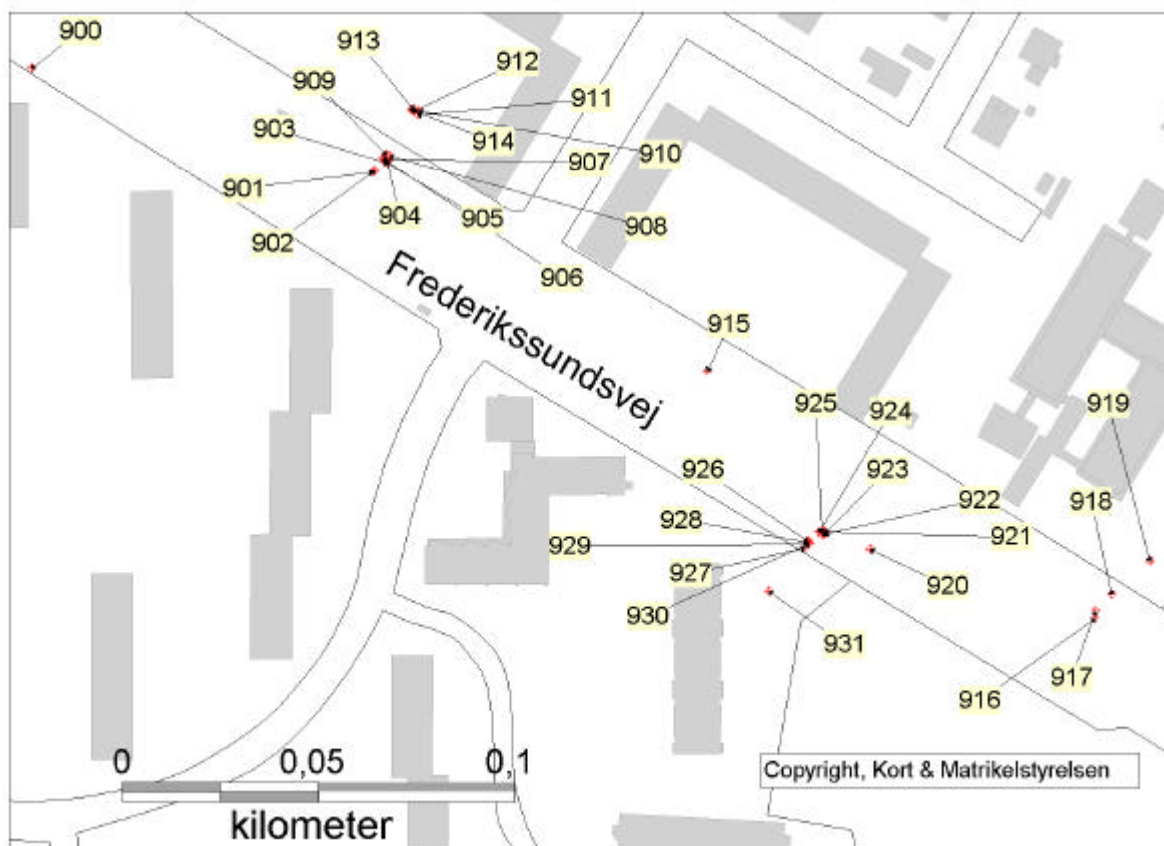
Jordbunden er hovedsagelig beskrevet som fyld, muld, sandet, mørkbrun indeholdende planterester eller ler. Fyldlaget er i et par boringer gennemboret i 0,3 - 1 m's dybde, hvor der træffes fed ler. I dybden er fyldjorden ofte mere leret. Terrænkoten varierer fra 19 m DNN til 25 m DNN.



Figur 3.1 Boringsplacering - Hareskovvej  
Sampling positions - Hareskov road

#### Frederikssundsvej

Jordbunden er hovedsagelig beskrevet som fyld, muld, sandet, mørkbrun indeholdende planterester og slagger. Fyldlaget er ikke gennemboret i 0,55 m's dybde- altså fyldlaget forsætter i dybden. I dybden er fyldjorden ofte mere leret. Terrænkoten varierer fra 13,3 m DNN til 20,4 m DNN. Vekjoten falder fra sydøst mod nordvest.



Figur 3.2 Boringsplacering - Frederikssundsvej  
 Sampling positions - Frederikssund road

Resultaterne for de kemiske analyser er samlet på en CD-ROM i et Excel regneark. Resultaterne er behandlet og evalueret i afsnit 3.2 -3.4 og i kapitel 4.

### 3.2 Deskriptiv statistik for tungmetaller, olie og PAH

I de følgende afsnit gives en oversigt over resultaterne fra forskellige afstandsintervaller (zone A - E) for bly, kobber, zink og benzo(a)pyren. For de øvrige parametre angives alene en beskrivelse af koncentrationsniveauerne (alle resultater er samlet på en CD-ROM). I henhold til beskrivelsen i afsnit 2.12 angives kun en gennemsnitsværdi, hvis 85% af resultaterne er over detektionsgrænsen. Ved beregning af gennemsnit, hvor mindre end 15% af dataene er under detektionsgrænsen, anvendes - hvor intet er påvist - en værdi svarende til det halve af detektionsgrænsen. Gennemsnittet vises, selv om forudsætningerne om en normalfordeling ikke nødvendigvis er opfyldt. Ved mindre end 7 data er der kun vist minimum, medianværdi og maksimum, samt eventuelt gennemsnit. Ved fraktilværdier under detektionsgrænsen anvendes betegnelsen i.p. (ikke påvist). Resultaterne afrundes til to betydende cifre i oversigtstabellerne.

#### Arsen

Alle målinger foretaget med EDXRF-teknikken har været mindre end detektionsgrænsen, 20 mg/kg TS. Der er kun udført tre ICP-målinger som har

ligget fra 7 - 16 mg/kg TS, hvilket er lidt højere end baggrunds niveauet for landområder (3 - 4 mg/kg TS, jf. tabel 2.2).

### Bly

Blyniveauet er væsentlig højere end baggrunds niveauet for landområder (10 - 12 mg/kg TS, jf. tabel 2.2). Som det fremgår af tabel 3.1 og 3.2, overskrides JKK i de fleste prøver i alle dybder. ASK overskrides dog kun i nogle få prøver tæt (<2 m) på vejen. I tabel 3.1 og 3.2 vises resultaterne for bly (EDXRF og ICP samlet) fra henholdsvis Hareskovvej og Frederikssundsvej.

Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK	
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9							
A 0-2 m	0,05	7	25	110	170	180	250	380	510	220	40	86	400	14
	0,1	21	22	90	130	210	310	420	540	235	95	14	14	
	0,3	10	15	20	33	120	290	420	510	180	70	20	20	
	0,55	7	7,0	8,4	11	13	130	250	290	84	29	29	29	
	1,05	1				54					100	100	100	
B 2-5 m	0,05	3	27			30			330	130	40	33	400	
	0,1	17	11	40	83	190	230	250	270	160	88			
	0,3	4	64			141			151	124	100			
	0,55	4	28			33			94	47	25			
	1,05	1				26								
C 5 - 10 m	0,05	6	92			180			220	170	40	100	400	
	0,1	30	45	58	68	110	150	220	230	120	100			
	0,3	6	38			54			240	110	67			
	0,55	4	10			19			250	73	25			
	1,05	1				14								
D 10 - 30 m	0,05	3	58			63			63	61	40	100	400	
	0,1	18	31	34	37	49	60	82	430	71	61		6	
	0,3	4	16			31			43	30	25			
	0,55	1				31								
	1,05	1				21								
E 30 - 100 m	0,05	8	26	29	31	35	45	48	50	37	40	38	400	
	0,1	13	18	23	31	34	42	48	55	36	31			
	0,3	1				40								
	0,55	1				16								
	1,05	1				18								

i.p.: ikke påvist      gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK - Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK - Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.1 Oversigt over resultater - Bly. Hareskovvej (mg/kg TS)  
 Overview of results - lead. Hareskov road (mg/kg dw)

Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
A 0-2 m	0,05	3	88		130			160	125	40	100	400	
	0,1	5	86		150			300	169	100	100		
	0,3	1			56					100	100		
	0,55	1			94					100	100		
B 2-5 m	0,05	4	33		100			180	100	40	75	400	
	0,1	18	30	39	120	130	150	170	200	126	89		
	0,3	2	42		84			130		100	100		
	0,55	2	17		52			66		50	50		
C 5 - 10 m	0,05	3	30		46			120	65	40	67	400	
	0,1	6	33		93			130	87	67	67		
	0,3	1			31								
	0,55	1			31								
D 10 - 30 m	0,05	3	49		290			350	230	40		400	
	0,1	5	38		330			380	210				
	0,3	2	230		270			320	270				
	0,55	1			65								

i.p.: ikke påvist      gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.2 Oversigt over resultater – Bly, Frederikssundsvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - lead, Frederikssunds road (mg/kg dw)*

I figur 3.3 vises alle data som en funktion af afstanden fra vejkant og opdelt i to dybder henholdsvis 0 - 30 cm og 45 - 105 cm. Blymålingerne er desuden vist på kortene i figur 3.4 og 3.5.

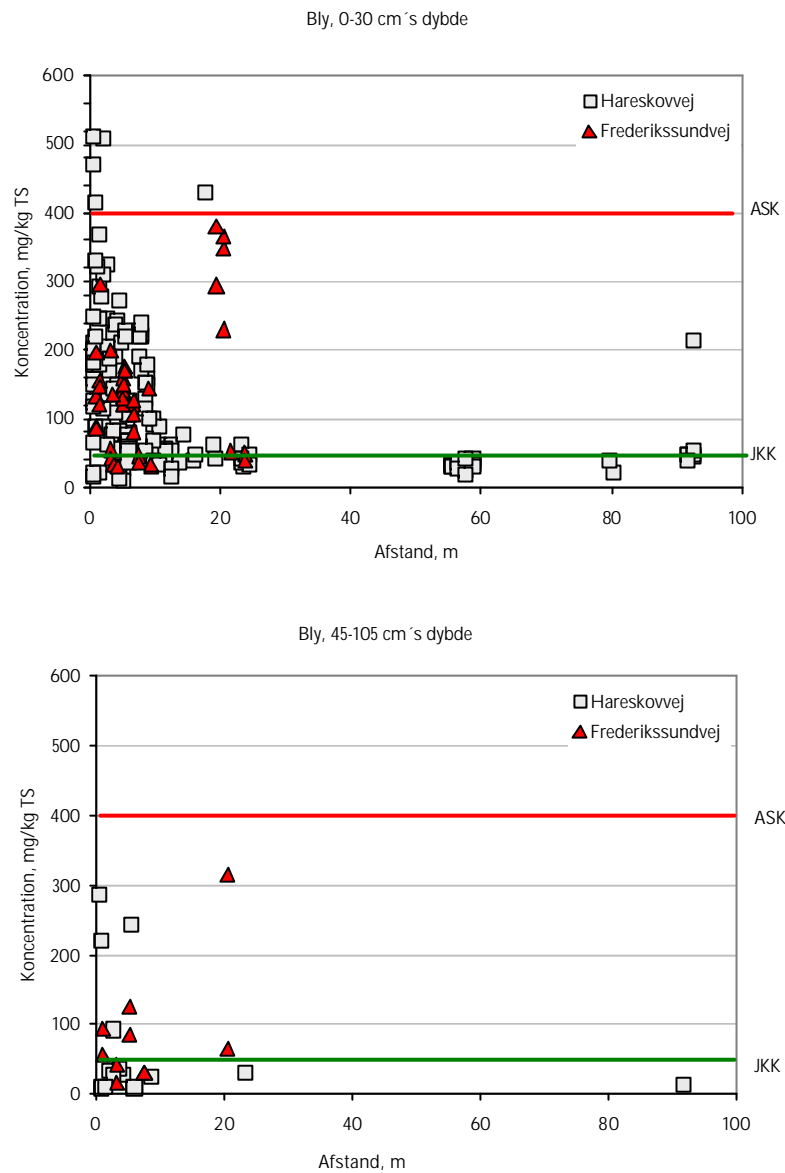
Som det ses af figur 3.3 og tabel 3.1 og 3.2, er der en generel tendens til at koncentrationerne aftager med afstanden fra vejen samt i dybden. Derimod ses stor spredning i blykoncentrationerne inden for samme afstandsinterval ligesom visse prøvetagningsfelter viser afvigende lavere eller højere værdier i forhold til afstanden fra vejanten langs både Hareskovvej og Frederikssundsvej. Spredningen i koncentrationsniveauet for prøver udtaget i de enkelte prøvetagningsfelter generelt er mindre (15 - 35%) end spredningen i koncentrationsniveauet for prøver udtaget i samme zone (50 - 60%). Årsagen til dette vurderes at skyldes forskelle i jordforureningsniveauet i de enkelte positioner langs vejen. De forholdsvis lave værdier tæt på vejanten kan eventuelt forklares ved, at der er sket jordudskiftning eller afhøvling af jord i forbindelse med vedligeholdelse og anlægsarbejde. De forholdsvis høje værdier i 20 m's afstand (230-360 mg/kg TS) i ét felt (910-914) langs Frederikssundsvej er udtaget i en græsplæne tilhørende en etageejendom fra 1953. Målinger udført med både EDXRF- og ICP-teknik viser høje resultater. Der er ikke anvendt kunstgødning på græsplænen, og før 1953 var der gartneri på området. I feltet ses især ved EDXRF-teknik højere koncentrationer for flere andre metaller (chrom, kobber, nikkel og zink), men de høje niveauer er mindre udtalte ved ICP-teknikken.

Koncentrationsniveauet aftager i dybden, men der ses ingen forskel i forureningsniveauet i 0 - 5 cm sammenlignet med forureningsniveauet i 2 - 10 cm. Ved større afstand end 15 - 20 m fra Hareskovvej ses at forureningsniveauet svarer til området (Tingbjerg - se datarapport for kulturlag /11/), dvs. mindre end JKK, jf. figur 3.4 og 3.5.

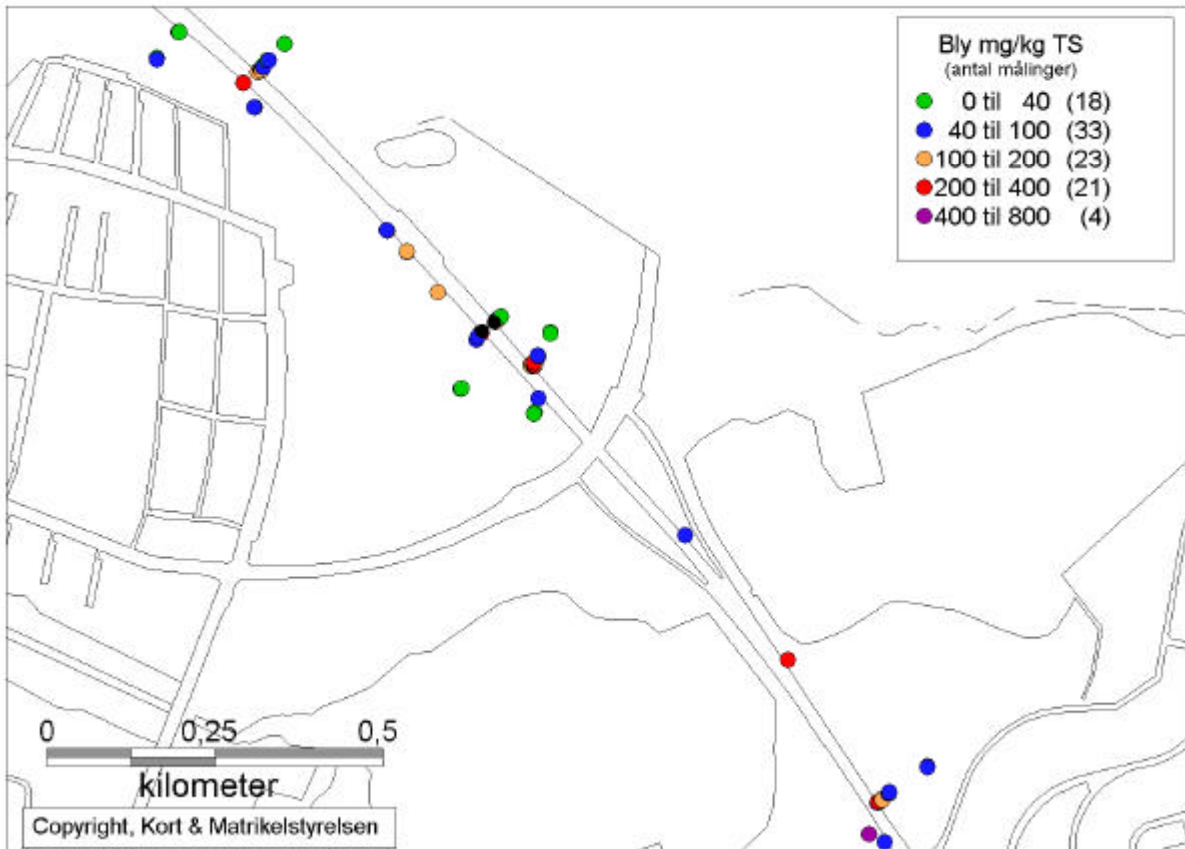
Der ses ingen tendens til højere koncentrationer ved den nordøstlig vindretning, jf. figur 3.3, idet resultaterne viser stor spredning på begge side af



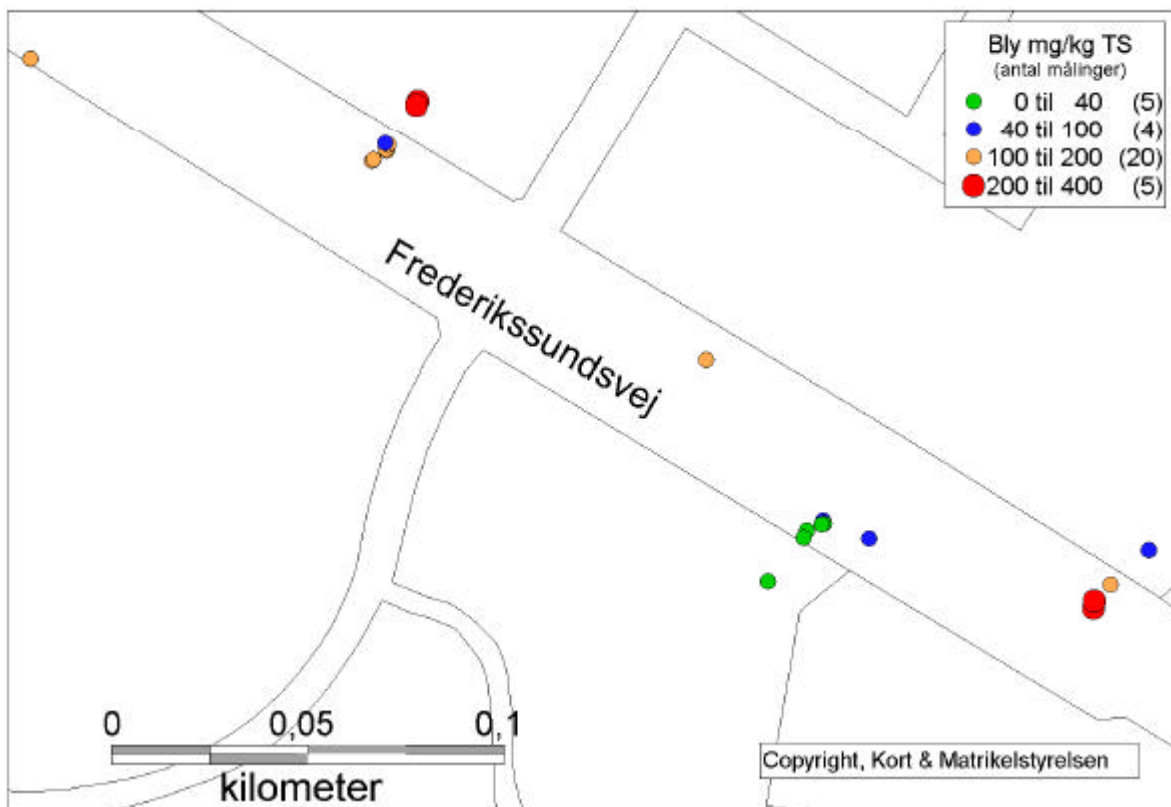
Hareskovvej. Ligeledes findes der ingen barriere inden for påvirkningsafstanden på 0-20 m langs Hareskovvej eller Frederikssundsvej.



Figur 3.3 Koncentration af bly som funktion af afstanden fra vejkanthen  
*Concentration of lead as a function of distance from road verge*



Figur 3.4 Kort over blymålinger - Hareskovvej  
Map showing lead measurements - Hareskov road



Figur 3.5 Kort over blymålinger - Frederikssundsvej  
Map showing lead measurements - Frederikssunds road

## Cadmium

Koncentrationsniveauet ligger over baggrunds niveauet for landområder (0,13-0,22 mg/kg TS, jf. tabel 2.2). Som det fremgår af tabel 3.3 og 3.4 er JKK overskredet i flere jordprøver. Der er kun indsamlet få data, men cadmiumindholdet er tilsyneladende lidt højere tæt på vejen og koncentrationen falder i dybden.

Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	Gns.	JKK	% data > JKK	ASK	% data > ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
A 0-2 m	0,05	3	0,19		0,65		0,72	0,52	0,5	66	5		
	0,1	7	0,12	0,46	1,1	1,8	1,9	2,0	1,18	85			
	0,3	3	0,06		0,16			1,3	0,51	33			
	0,55	1			0,27								
	1,05												
B 2-5 m	0,05									0,5		5	
	0,1	2	0,63		0,64		0,64			100			
	0,3												
	0,55												
	1,05												
C 5 - 10 m	0,05	1			1,1					0,5	100	5	
	0,1	13	0,39	0,41	0,46	0,50	0,92	1,3	1,3	0,73	46		
	0,3												
	0,55												
	1,05												
D 10 – 30 m	0,05									0,5		5	
	0,1	5	0,3		0,52			0,62	0,49	60			
	0,3												
	0,55												
	1,05												
E 30 – 100 m	0,05									0,5		5	
	0,1	2	0,28		0,31			0,33					
	0,3												
	0,55												
	1,05												

i.p.: ikke påvist      gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.3 Oversigt over resultater – Cadmium. Hareskovvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - cadmium. Hareskov road (mg/kg dw)*

Parameter	Dybde	Antal data	min	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
				0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
Bly	m													
A 0-2 m	0,05 0,1 0,3 0,55	1			0,75					0,5	100	5		
B 2-5 m	0,05 0,1 0,3 0,55	6	0,71		0,75			0,94	0,80	0,5	100	5		
C 5 - 10 m	0,05 0,1 0,3 0,55	1			0,64					0,5	100	5		
D 10 - 30 m	0,05 0,1 0,3 0,55	1 1			1,2 0,77					0,5	100 100	5		

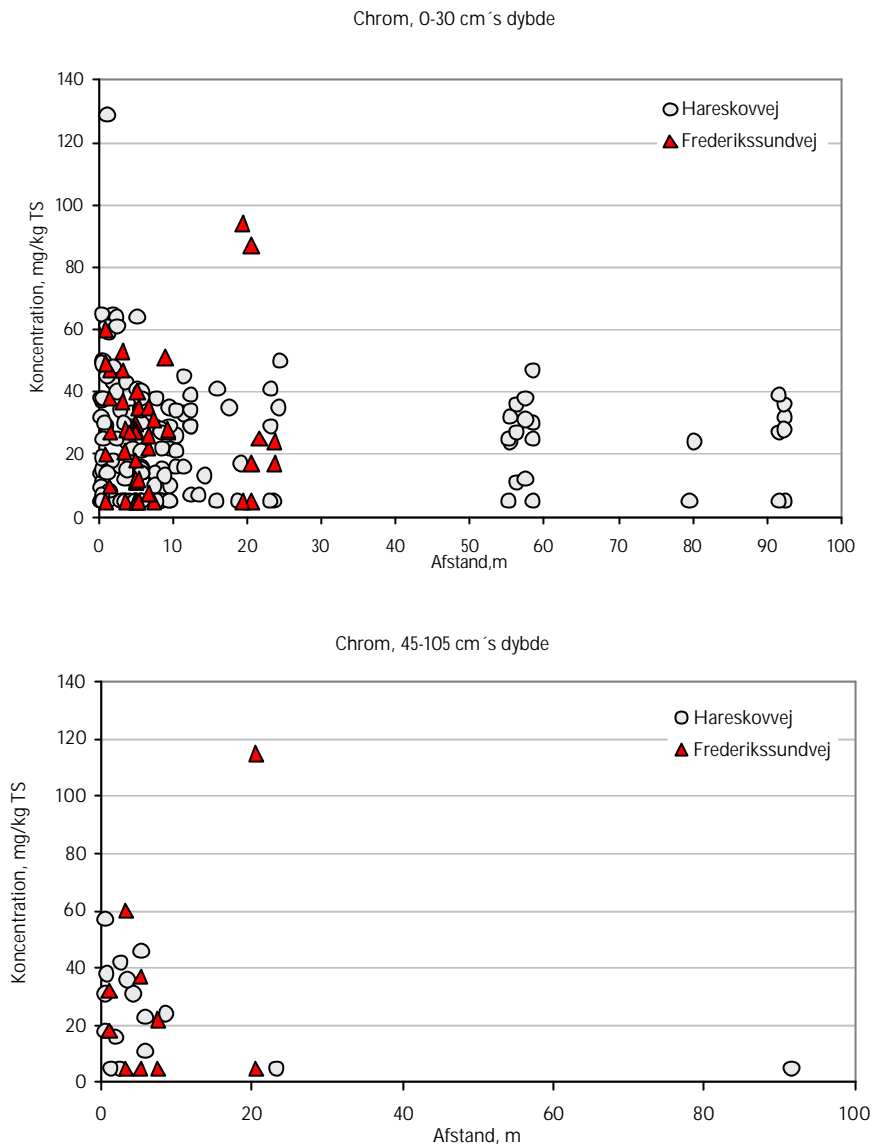
i.p.: ikke påvist gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.4 Oversigt over resultater – Cadmium. Frederikssundsvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - cadmium. Frederikssund road (mg/kg dw)*

### Chrom

Chromniveauet er omkring 8 - 22 mg/kg TS (målt ved ICP-teknikken), hvilket svarer til baggrunds niveauet for landområder (6,4 - 17 mg/kg TS, jf. tabel 2.2). Der ses ingen tendens til højere koncentrationer tæt på vejen eller i dybden. Generelt er målinger med EDXRF teknikken højere end ved ICP og EDXRF- måleområdet er lige omkring detektionsgrænsen. For en vurdering af EDXRF sammenlignet med ICP teknikken, se i øvrigt datarapporten om kulturlag /11/. Da der ved EDXRF kun måles i et lille "vindue" på overfladen af jordprøven, mens der ved ICP udføres ekstraktion på 2 g jord, kan en forskel mellem de to typer målinger eventuelt forklares ved, at tungmetalfureningen findes på overfladen af jordpartiklerne.

I figur 3.6 vises alle data (ICP og EDXRF) som en funktion af afstanden fra vejkanten. Der ses forholdsvis høje målinger målt ved EDXRF i 20 m's afstand (87-95 mg/kg TS) i ét felt (910-914) langs Frederikssundsvej, men kontrolmålinger ved ICP er omkring 17 mg/kg TS. I dette felt ses desuden højere indhold af andre metaller herunder bly.



Figur 3.6 Koncentration af chrom som funktion af afstanden fra vejkanthen  
*Concentration of chromium as a function of distance from road verge*

### Kobber

Kobberniveauet er væsentligt højere end baggrunds niveauet for landområder (5,6 - 9 mg/kg TS, jf. tabel 2.2). Som det ses af tabel 3.5 og 3.6 (EDXRF og ICP samlet) overskrides JKK og ASK dog ikke (undtagen i én prøve).

I figur 3.7 vises alle data som en funktion af afstanden fra vejkanthen.

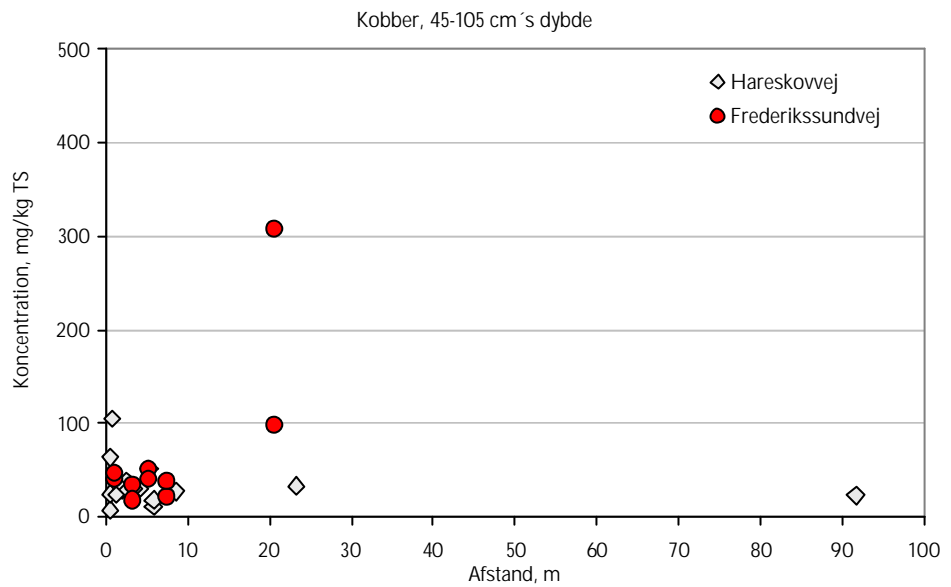
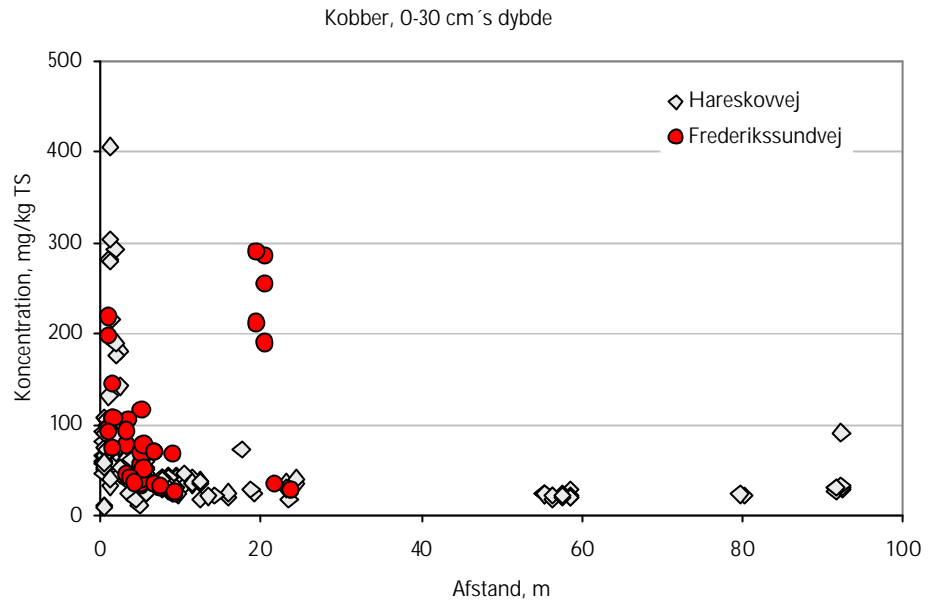
Som det ses af figur 3.7 og tabel 3.5 og 3.6 er der en generel tendens til at koncentrationerne aftager inden for få meter fra vejen og i dybden. Derimod ses stor spredning i kobberkoncentrationerne samt at visse prøvetagningsfelter viser afvigende lavere eller højere værdier i forhold til afstanden fra vejkanthen.

Parameter	Dybde	Antal data	min Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
Kobber	M												
A 0-2 m	0,05	7	13	35	55	65	190	340	410	140	500	1000	
	0,1	21	13	46	65	93	190	280	730	150	5		
	0,3	10	9,8	11	43	58	71	88	90	55			
	0,55	7	7,7	16	23	25	47	80	110	40			
	1,05	1				51							
B 2-5 m	0,05	3	35			43			180	86	500	1000	
	0,1	17	12	21	41	46	61	68	142	52			
	0,3	4	43			45			53	47			
	0,55	4	28			31			39	32			
	1,05					49							
C 5 - 10 m	0,05	6	26			39			43	37	500	1000	
	0,1	30	23	25	30	37	45	51	66	39			
	0,3	6	25			31			57	35			
	0,55	4	11			21			52	27			
	1,05	1				38							
D 10 - 30 m	0,05	3	38			39			42	40	500	1000	
	0,1	18	17	19	23	32	36	39	72	32			
	0,3	4	30			37			46	37			
	0,55	1				33							
	1,05	1				31							
E 30 - 100 m	0,05	8	22	22	23	24	28	29	29	25	500	1000	
	0,1	13	18	20	20	22	24	31	33	24			
	0,3	1				31							
	0,55	1				23							
	1,05	1				21							

i.p.: ikke påvist      gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.5 Oversigt over resultater – Kobber. Hareskovvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - copper. Hareskov road (mg/kg dw)*

Der ses forholdsvis høje værdier i 20 m's afstand (200-300 mg/kg TS) i ét felt (910-914) langs Frederikssundsvej. Både EDXRF-målinger og kontrolmålinger med ICP er høje i dette felt. I dette felt ses desuden højere indhold af de øvrige metaller herunder bly.



Figur 3.7 Koncentration af kobber som funktion af afstanden fra vejkanthen  
*Concentration of copper as a function of distance from road verge*

Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
kobber	m												
A 0-2 m	0,05	3	150		200			220	200	500	1000		
	0,1	5	74		97			110	96				
	0,3	1			41								
	0,55	1			47								
B 2-5 m	0,05	4	44		74			120	77	500	1000		
	0,1	18	34	36	37	54	55	83	110	53			
	0,3	2	35		43			51					
	0,55	2	18		30			41					
C 5 – 10 m	0,05	3	25		30			70	42	500	1000		
	0,1	6	26		52			70	51				
	0,3	1			22								
	0,55	1			38								
D 10 – 30 m	0,05	3	28		210			260	170	500	1000		
	0,1	5	28		190			290	170				
	0,3	2	160		230			310					
	0,55	1			100								

i.p.: ikke påvist      gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.6 Oversigt over resultater – kobber, Frederikssundsvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - copper, Frederikssund road (mg/kg dw)*

### Nikkel

Nikkelniveauet er omkring 8 - 22 mg/kg TS, hvilket svarer til baggrunds-niveauet for landområder (2,9 - 9,6 mg/kg TS, jf. tabel 2.2) og der ses ingen tendens til højere koncentrationer tæt på vejen eller i dybden.

Der ses forholdsvis høje værdier i 20 m's afstand i ét felt (910-914) langs Frederikssundsvej ved især EDXRF-teknikken (67-75 mg/kg TS), men målinger ved ICP-teknikken er kun lidt forhøjet (25 mg/kg TS). I dette felt ses desuden højere indhold af de øvrige metaller herunder bly.

### Zink

Zinkniveauet er væsentligt højere end baggrunds-niveauet for landområder (18 - 45 mg/kg TS, jf. tabel 2.2). Som det fremgår af tabel 3.7, og 3.8 (EDXRF og ICP samlet) og figur 3.8, overskrides JKK i nogle få prøver fra Frederikssundsvej.

I figur 3.8 vises alle data vist som en funktion af afstanden fra vejkanten.

Som det ses af figur 3.8 og tabel 3.7 og 3.8 er der en generel tendens til at koncentration aftager med afstanden fra vejen og i dybden. Derimod ses stor spredning i zinkkoncentrationerne samt at visse prøvetagningsfelter viser afvigende lavere eller højere værdier i forhold til afstanden fra vejkanten.



Parameter	Dybde m	Antal data	min Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK	
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9							
Zink	A 0-2 m	0,05	7	50	100	150	170	330	480	490	240	500	1000	
		0,1	21	49	120	180	230	270	360	430	230			
		0,3	10	28	39	69	140	190	220	280	140			
		0,55	7	31	35	46	65	130	190	194	90			
		1,05	1				150							
B 2-5 m	0,05	3	120			140			340	200	500	1000		
	0,1	17	38	71	110	150	190	230	250	150				
	0,3	4	91			150			180	140				
	0,55	4	51			100			160	100				
	1,05	1				150								
C 5 – 10 m	0,05	6	110			130			150	130	500	1000		
	0,1	30	69	95	100	120	160	190	210	130				
	0,3	6	74			120			180	120				
	0,55	4	24			64			170	80				
	1,05	1				140								
D 10 - 30 m	0,05	3	90			93			94	94	500	1000		
	0,1	18	49	65	70	80	100	130	250	94				
	0,3	4	42			54			100	63				
	0,55	1				82								
	1,05	1				75								
E 30 – 100 m	0,05	8	65	66	68	74	87	110	110	90	500	1000		
	0,1	13	51	54	59	67	78	110	130	75				
	0,3	1				107								
	0,55	1				85								
	1,05	1				56								

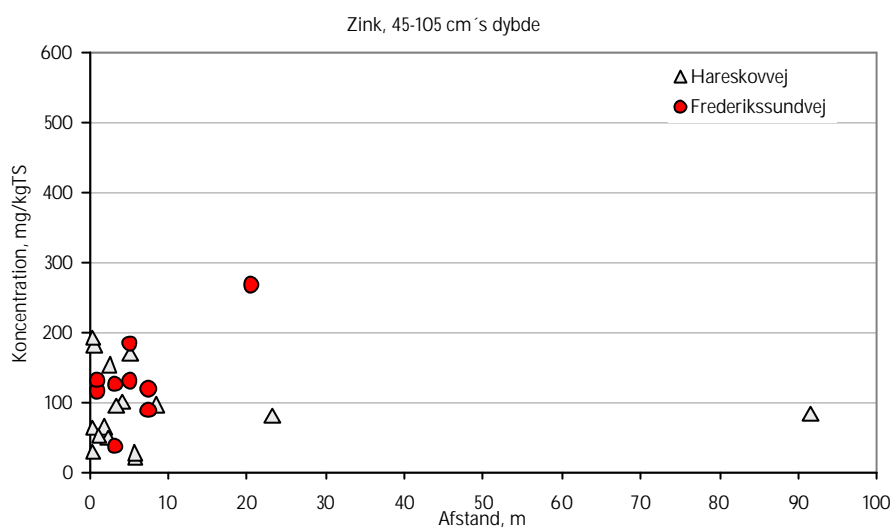
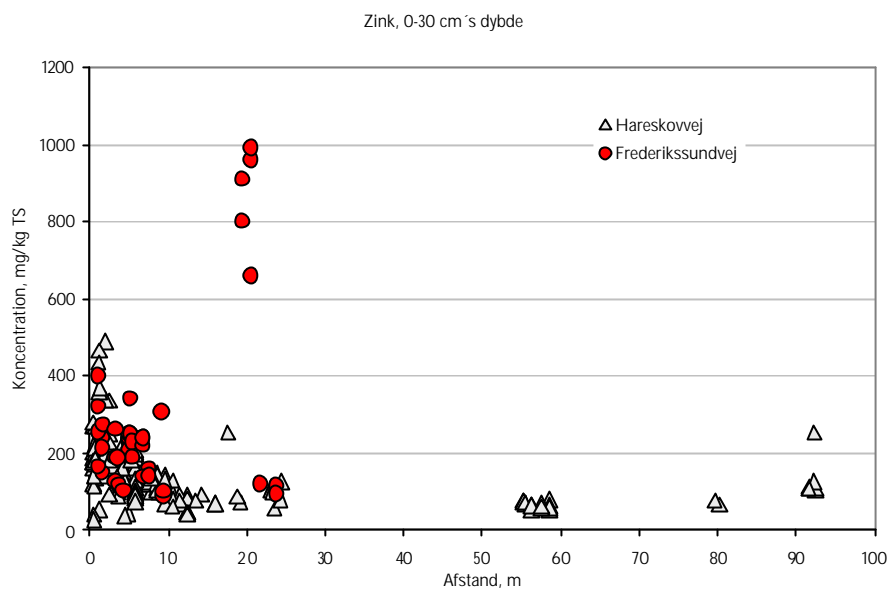
i.p.: ikke påvist gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.7 Oversigt over resultater – zink. Hareskovvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - zinc. Hareskov road (mg/kg dw)*

Parameter	Dybde m	Antal data	min Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK	
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9							
kobber	A 0-2 m	0,05	3	240			320			400	320	500	1000	
		0,1	5	150			210			280	210			
		0,3	1				120							
		0,55	1				130							
B 2-5 m	0,05	4	110			220			340	240	500	1000		
	0,1	18	100	125	190	210	240	250	260	200				
	0,3	2	130			160			190	160				
	0,55	2	39			86			130	86				
C 5 – 10 m	0,05	3	88			160			240	160	500	1000		
	0,1	6	100			180			310	190				
	0,3	1				90								
	0,55	1				120								
D 10 - 30 m	0,05	3	120			800			960	630	500	1000		
	0,1	5	94			660			1000	560				
	0,3	2	620			800			990	800				
	0,55	1				270								

i.p.: ikke påvist gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.8 Oversigt over resultater – zink. Frederikssundsvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - zinc. Frederikssund road (mg/kg dw)*



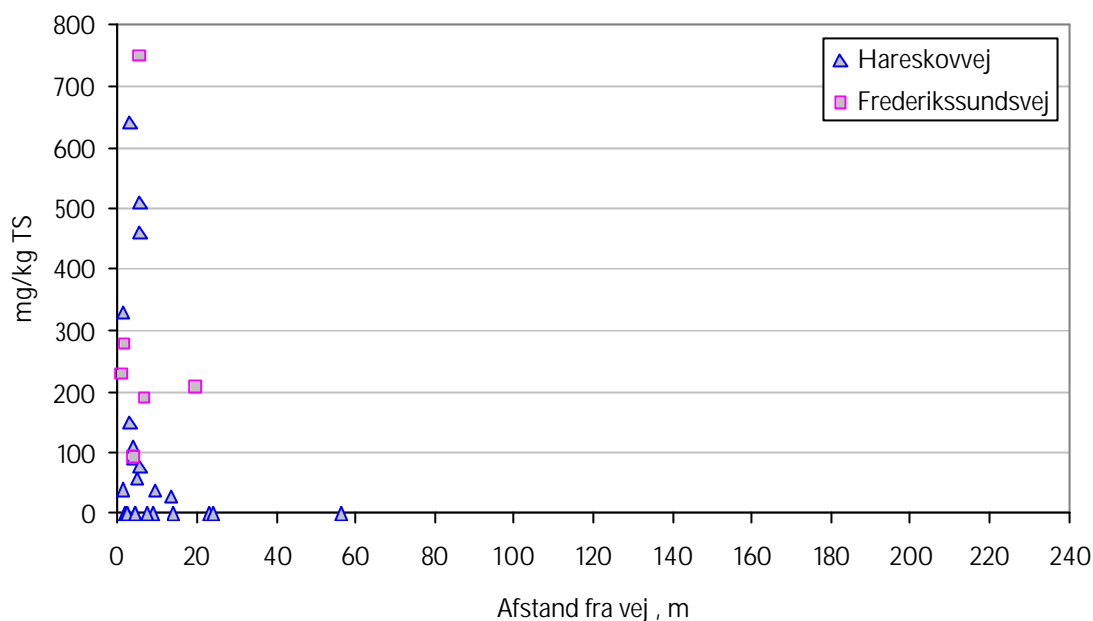
Figur 3.8 Koncentration af zink som funktion af afstanden fra vejkanten  
*Concentration of zinc as a function of distance from road verge*

Der ses forholdsvis høje værdier i 20 m's afstand (660-990 mg/kg TS) i ét felt (910-914) langs Frederikssundsvej ved både ICP og EDXRF målinger. I dette felt ses desuden højere indhold af de øvrige metaller herunder bly.

### Totalkulbrinter

Der er analyseret henholdsvis 6 og 24 prøver fra Frederikssundsvej og Hareskovvej - de fleste er udtaget indenfor 10 m af vejen og 0,1 m's dybde, jf. figur 3.9. Kun 50% af prøverne indeholder oliekulbrinter og koncentrationsintervallet tæt på vej (0-10 m) er fra 38 - 750 mg/kg TS. De fleste forurenede prøver er beskrevet som indeholdende kulbrinter med et kogepunktsinterval svarende til tjære/asfalt (33%) eller kulbrinter med et kogepunktsinterval svarende til motorolie (33%). Ca. 33% beskrives som indeholdende naturlige kulbrinter. Ingen af prøverne har vist et udslag ved måling med en Photoionisationsdetektor, som måler flygtige kulbrinter.

### Totalkulbrinter (olie)



Figur 3.9 Koncentration af olie kulbrinter som funktion af afstanden fra vejkannten  
*Concentration of oil hydrocarbons as a function of distance from road verge*

### PAH

Indhold af BaP, DiBaA og sum af PAH er direkte korreleret, jf. afsnit 4. Det er indholdet af BaP, som hyppigst overskrider JKK og kun BaP data præsenteres her, idet sum af PAH og dibenz(ah)anthracen viser samme forureningsbillede. Som det fremgår af tabel 3.9 og 3.10, overskrider BaP JKK i de fleste jordprøver tæt på vejen og flere af prøverne overskrider desuden ASK.

I figur 3.10 vises alle data vist som en funktion af afstanden fra vejkant og i figur 3.11 og 3.12 vises positioner på kortene over testarealerne.

Som det ses af figur 3.10, 3.11 og 3.12 er der en generel tendens til at koncentrationen aftager med afstanden fra vejen og i dybden. Derimod ses stor spredning i BaP-koncentrationerne inden for samme afstandsintervaller og visse prøvetagningsfelter viser afvigende lavere eller højere værdier i forhold til afstanden fra vejkannten langs både Hareskovvej og Frederikssundsvej.

Koncentrationsniveauet aftager i dybden, men der ses ingen forskel i forureningsniveauet i 0 - 5 cm sammenlignet med forureningsniveauet i 2 - 10 cm. Ved større afstand end 15 - 20 m fra Hareskovvej og Frederikssundsvej ses et forureningsniveau, som svarer til de to forskellige nærområder (Tingbjerg og Banefløj /11/).

Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
BaP	m												
A 0-2 m	0,05	4	0,11		0,29			0,44	0,28	0,1	100	1	
	0,1	14	0,02	0,04	0,17	0,33	0,44	0,98	0,24		64		
	0,3	10	0,01		0,12			0,32	0,13		50		
	0,55	11	0,00		0,06			0,14	0,06		27		
	1,05	1			0,033								
B 2-5 m	0,05	3	0,01		0,01			0,1	0,04	0,1	100	1	
	0,1	15	0,00	0,02	0,05	0,28	0,60	0,91	0,23		46		
	0,3	4	0,02		0,14			0,70	0,25		50		
	0,55	4	0,00		0,04			0,13	0,05		25		
	1,05	1			0,02								
C 5 - 10 m	0,05	5	0,21		0,26			1,2	0,49	0,1	100	1	
	0,1	12	0,03	0,08	0,48	2,2	5,0	8,0	1,7		75	33	
	0,3	6	0,07		0,21			2,1	0,66		67	33	
	0,55	4	0,02		0,06			0,32	0,11		25		
	1,05	1			0,02								
D 10 - 30 m	0,05	3	0,11		0,19			0,32	0,21	0,1	100	1	
	0,1	13	0,02	0,04	0,05	0,19	0,22	0,28	0,11		39		
	0,3	4	0,04		0,08			0,18	0,10		50		
	0,55	1			0,02								
	1,05	1			0,00								
E 30 - 100 m	0,05	8	0,02	0,03	0,03	0,06	0,08	0,09	0,05	0,1	100	1	
	0,1	11	0,02	0,02	0,04	0,06	0,09	0,55	0,09		9		
	0,3	1			0,06								
	0,55	1			0,00								
	1,05	1			0,00								

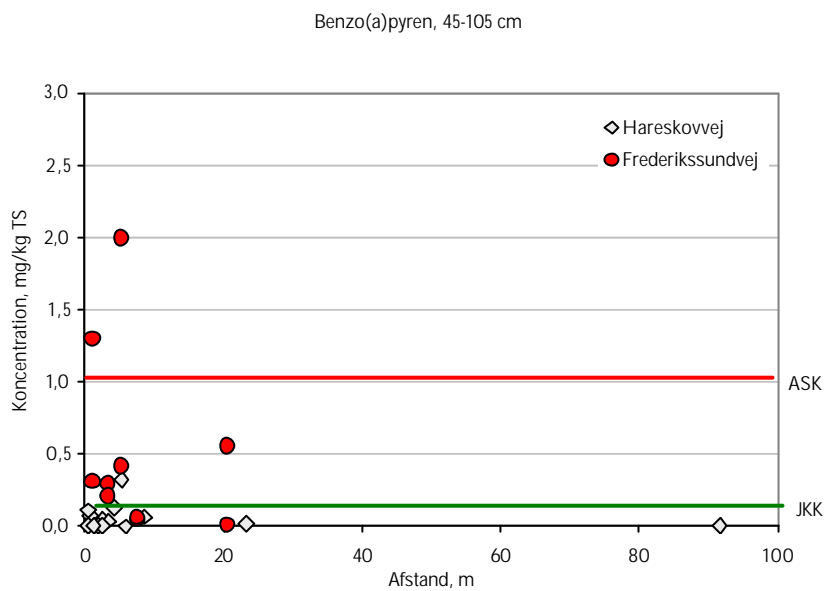
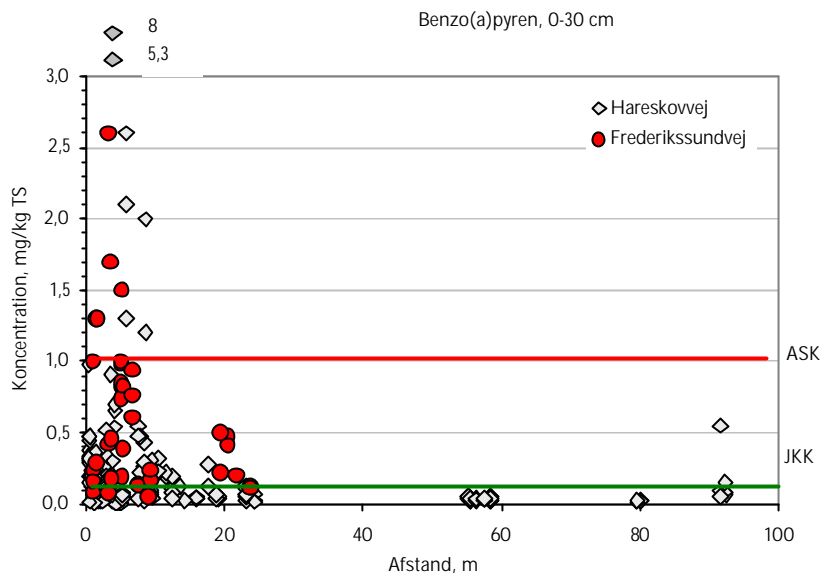
i.p.: ikke påvist gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

Tabel 3.9 Oversigt over resultater – BaP. Hareskovvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - BaP. Hareskov road (mg/kg dw)*

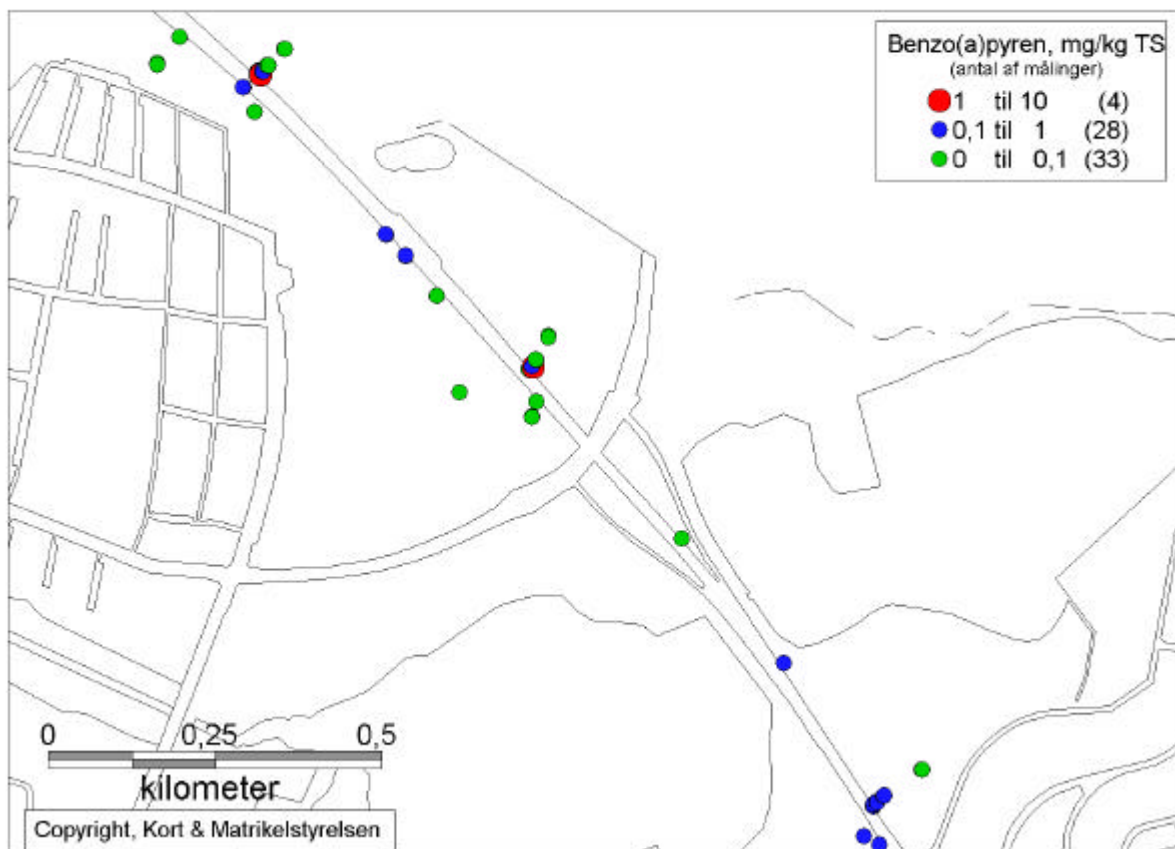
Parameter	Dybde	Antal data	Fraktiler					max	gns.	JKK	% data >JKK	ASK	% data >ASK
			0,1	0,25	0,5	0,75	0,9						
BaP	m												
A 0-2 m	0,05	3	0,08		0,24			0,25	0,2	0,1	66	1	
	0,1	5	0,16		1,2			1,5	0,94		100	50	
	0,3	1			0,31						100		
	0,55	1			1,3						100	100	
B 2-5 m	0,05	4	0,07		0,19			0,39	0,21	0,1	75	1	
	0,1	11	0,79	0,85	1,5	1,5	2,3	2,7	4,5		100	27	
	0,3	2	0,3		1,2			2	1,2		100	50	
	0,55	2	0,21		0,32			0,42	0,42		100		
C 5 - 10 m	0,05	3	0,14		0,17			0,61	0,31	0,1	100	1	
	0,1	5	0,05		0,24			0,94	0,42		80		
	0,3	1			0,04								
	0,55	1			0,06								
D 10 - 30 m	0,05	3	0,12		0,22			0,47	0,27	0,1	100	1	
	0,1	5	0,11		0,31			0,50	0,31		100		
	0,3	2			0,28						50		
	0,55	1			0,013								

i.p.: ikke påvist gns.: gennemsnit  
 Overskridelse af JKK – Jordkvalitetskriteriet /24/.  
 Overskridelse af ASK – Afskæringskriteriet /24/.

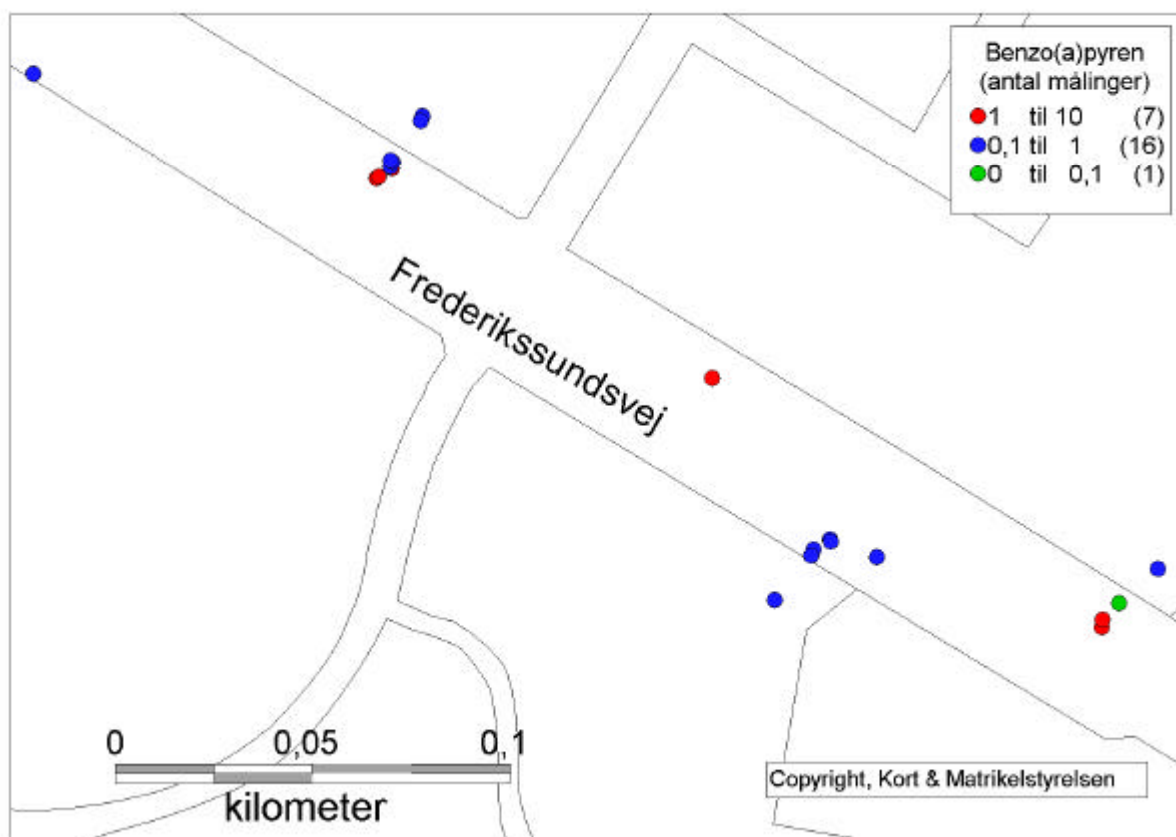
Tabel 3.10 Oversigt over resultater – BaP. Frederikssundsvej (mg/kg TS)  
*Overview of results - BaP. Frederikssund road (mg/kg dw)*



Figur 3.10 Koncentration af BaP som funktion af afstanden fra vejkannten  
*Concentration of BaP as a function of distance from road verge*



Figur 3.11 Kort over BaP-målinger – Hareskovvej  
Map showing BaP measurements – Hareskovvej road



Figur 3.12 Kort over BaP-målinger – Frederikssundsvej  
Map showing BaP measurements – Frederikssund road

## Korrelation mellem parametre

I tabel 3.11 vises Pearsons korrelation mellem flere af parametrene i 0 - 105 cm's dybde og i alle afstandsintervaller.

Der ses god eller rimelig korrelation mellem Zn og Cd, Pb og Cd, samt Pb og Zn, men ingen korrelation mellem de andre parametre.

	Pb	Cd	Cu	Zn	BaP
Pb	1,00				
Cd	0,89	1,00			
Cu	0,44	0,26	1,00		
Zn	0,81	0,85	0,63	1,00	
BaP	0,04	-	0,012	0,087	1,00.

- ikke beregnet

Positiv værdi (begge parametre vokser).    Negativ værdi (en parameter aftager, en vokser)  
> 0,87    God korrelation    0,5 - 0,71    Tvivlsom korrelation  
0,71 - 0,87    Rimelig korrelation    < 0,5    Ingen korrelation

Tabel 3.11 Korrelation mellem organisk indhold, Pb, Cd, Cu, Zn og BaP i 0-105 cm's dybde

*Correlation between organic content, Pb, Cd, Cu, Zn and BaP in 0-105 cm's depth*

I tabel 3.12 vises Pearsons korrelation mellem flere af parametrene i 0 - 10 cm's dybde og i zone A-C (0-10 m's afstand fra vejen). Som det ses af tabel 3.12 er korrelationskoefficienter sammenlignelig med tabel 3.11.

	Pb	Cd	Cu	Zn	BaP
Pb	1,00				
Cd	0,88	1,00			
Cu	0,36	0,19	1,00		
Zn	0,74	0,80	0,59	1,00	
BaP	0,17	-	0,14	0,077	1,00.

- ikke beregnet

Positiv værdi (begge parametre vokser).    Negativ værdi (en parameter aftager, en vokser)  
> 0,87    God korrelation    0,5 - 0,71    Tvivlsom korrelation  
0,71 - 0,87    Rimelig korrelation    < 0,5    Ingen korrelation

Tabel 3.12 Korrelation mellem organisk indhold, Pb, Cd, Cu, Zn og BaP i 0-10 cm's dybde i 0-10 m's afstand til vejen

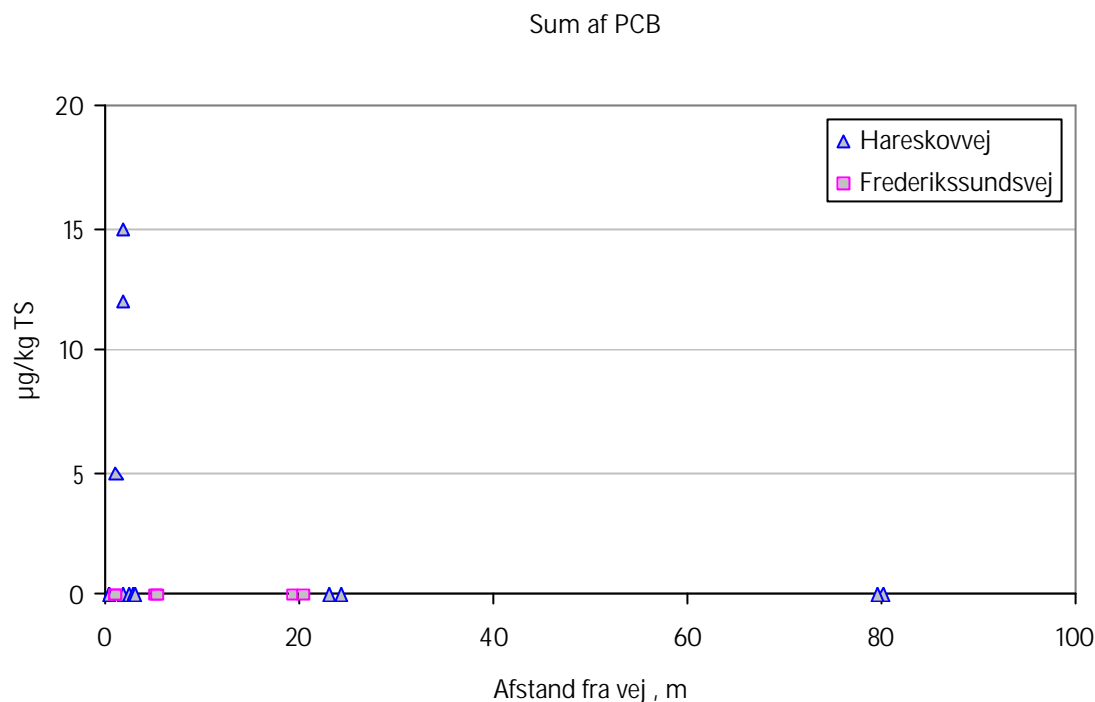
*Correlation between organic content, Pb, Cd, Cu, Zn and BaP in 0-10 cm's depth and 0-10 m's distance from the road.*

I datarapport for kulturlag /11/ er der fundet lignende korrelation mellem disse parametre. Desuden er BaP altid korreleret med sum af PAH (Pearsons korrelation, R= 0,98).

## 3.3 Deskriptiv statistik for øvrige organiske parametre

### PCB

Der er analyseret henholdsvis 7 og 13 prøver fra det øverste jordlag (0,05 - 0,1 m's dybde) langs Frederikssundsvej og Hareskovvej. Kun tre af prøverne har indeholdt PCB (CB 153 og 138) på henholdsvis 5, 12 og 15 µg/kg TS, jf. figur 3.13. De andre 10 prøver var under detektionsgrænsen på 5 µg/kg TS. Der er intet dansk jordkvalitetskriterium, men i Holland er kvalitetskriteriet 20 µg/kg TS /26/.

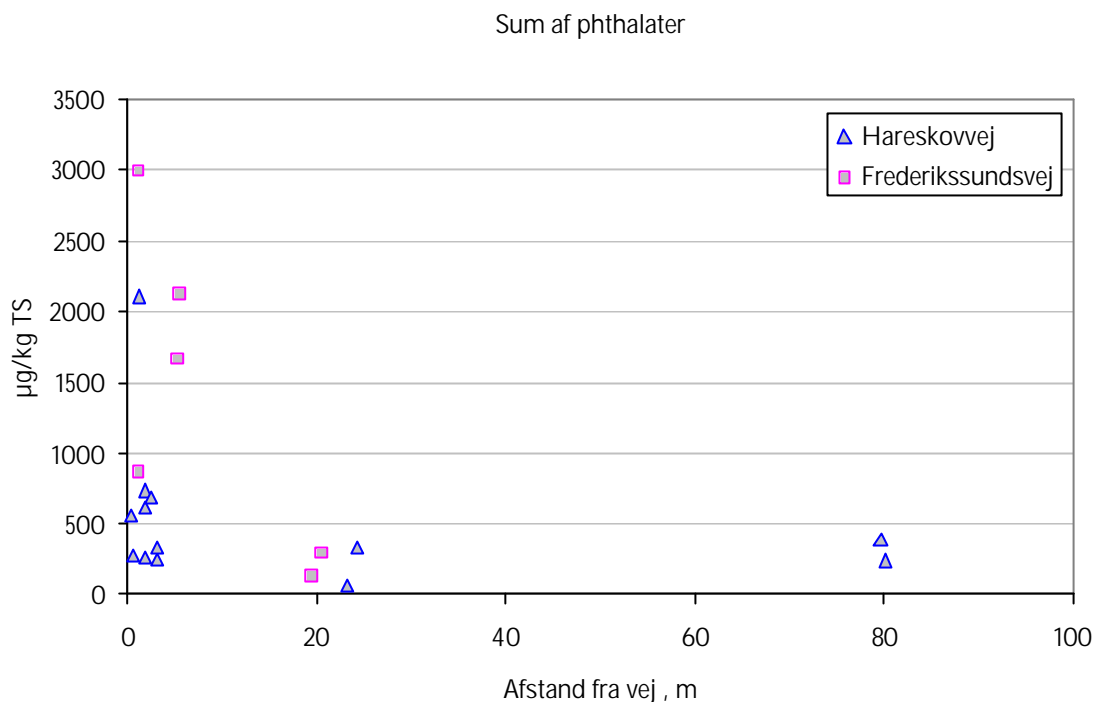


Figur 3.13 Koncentration af PCB som funktion af afstanden fra vejkanten  
*Concentration of PCB as a function of distance from road verge*

### Phthalater

Der er analyseret henholdsvis 7 og 13 prøver fra det øverste jordlag (0,05 - 0,1 m's dybde) langs Frederikssundsvej og Hareskovvej. Alle prøver indeholdte små mængder phthalater (50 - 3000 µg/kg TS), jf. figur 3.14. Hovedstoffet er DEHP (50 - 2600 µg/kg TS) med mindre mængder di-isononylphthalat og di-n-butylphthalat. Koncentrationsniveauet var generelt lidt højere langs Frederikssundsvej (median for sum af phthalater 1300 µg/kg TS) end Hareskovvej (median for sum af phthalater, 240 µg/kg TS). Som det ses af figur 3.14 er der en tendens til højere koncentrationer tæt på rabatten end på afstanden. JKK på henholdsvis 25.000 µg DEHP/ kg TS og 250.000 µg sum af phthalater/kg TS /24/ er ikke overskredet.

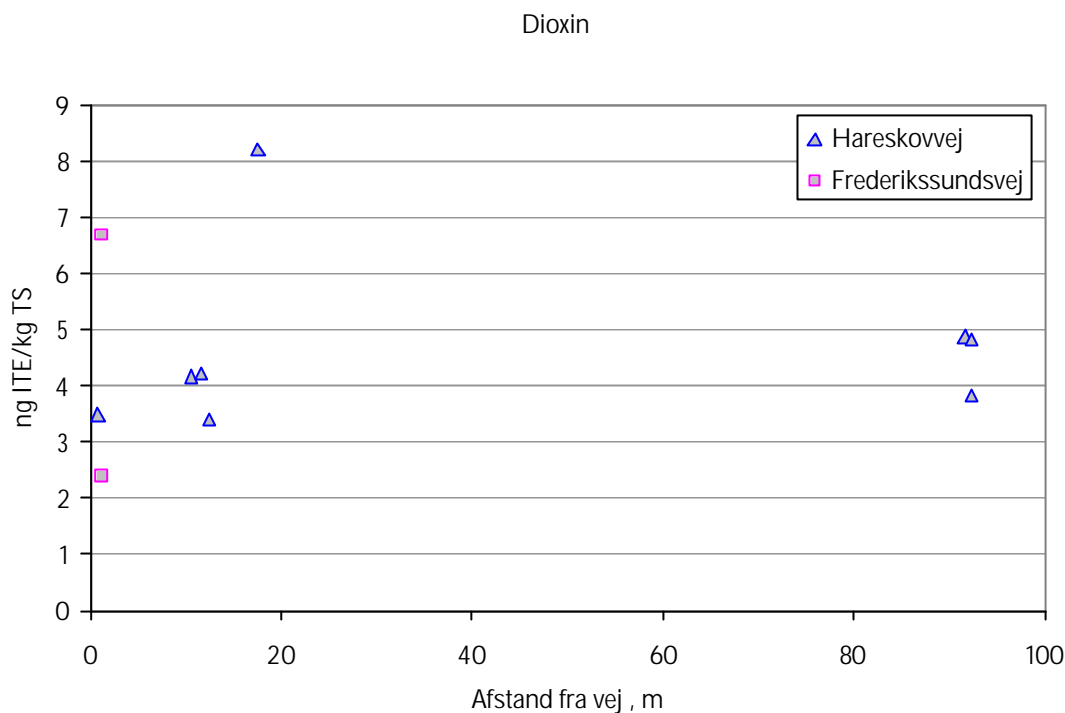




Figur 3.14 Koncentration af phthalater som funktion af afstanden fra vejkanten  
*Concentration of phthalates as a function of distance from road verge*

### Dioxiner

Der er analyseret henholdsvis 3 og 8 prøver fra det øverste jordlag (0,05 - 0,1 m's dybde) langs Frederikssundsvej og Hareskovvej. Dioxinindholdet målt som internationale toksicitetsækvivalenter (defineret af NATO/CCMS) er fra 2,4 - 8,2 ng ITE/kg TS med en medianværdi omkring 4,5 ng ITE/kg TS, jf. figur 3.15. Koncentrationsniveauet er dermed på samme niveau som det tyske baggrunds niveau for landbrugsjord (omkring 1- 5 ng ITE/kg TS), og noget lavere end niveauet målt i tyske byområder (10 - 30 ng ITE/kg TS) /24/. Der er tilsyneladende ingen tendens til et højere indhold tæt på vejkanten.



Figur 3.15 Koncentration af dioxiner som funktion af afstanden fra vejkannten  
*Concentration of dioxins as a function of distance from road verge*

#### Pesticider

Der er fundet mindre indhold af DDD og DDE (nedbrydningsprodukt af DDT) i tre af de ni analyserede prøver (0,005- 0,018 mg/kg TS). JKK på 0,5 mg DDT/kg TS /24/ er ikke overskredet.

#### 3.4 PAH-sammensætning

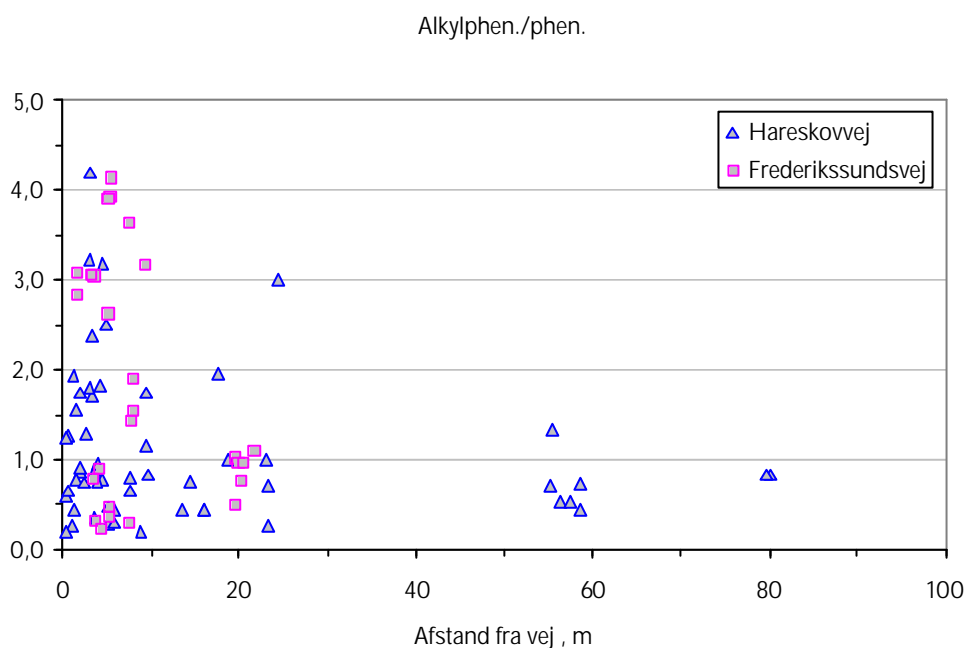
Med det formål at vurdere PAH-sammensætningen i forhold til PAH-kilden er der analyseret for et udvidet antal PAH, ligesom det relative forhold mellem de enkelte PAH er analyseret i et række prøver fra det øverste jordlag (0,05 – 0,3 m u. t.) langs både Frederikssundsvej og Hareskovvej.

Der er som nævnt i /21/ peget på visse PAH-forbindelser og indikatorer, som kan benyttes til vurdering af kildeoprindelsen. Kilder til diffus jordforurening med PAH kan være olieprodukter, sediment fra spildevand (ofte olieprodukter), produkter indeholdende kultjære samt atmosfærisk nedfald fra forbrænding af fossilt brændsel (kul, koks og olie). I ældre jordforureninger er de lettere methylerede PAH, som karakteriserer olieprodukter, ofte nedbrudt, men der findes også relativt stabile methylerede 3 – 4-ringede PAH-forbindelser. Endvidere er reten (7-isopropyl-1-methyl-phenanthren) en specifik indikator for afbrænding af nåletræ, og coronen, anthanthren og benzo(ghi)perylene dannes i forbrændingsmotorer /21/. For at kunne sammenligne disse indikatorer med forskellige PAH-belastninger på alle testarealer i fase II er indholdet normaliseret i forhold til BaP-, DiBaA- eller phenanthren-indholdet. De fire følgende indekser har vist forskelle ved sammenligning med data fra datarapporter om kulturlag og industri /11,12/.

- Alkylphenanthrener/Phenanthren (Alkylphen/Phen) Høj ved emission fra trafikken
- Benzo(ghi)perylen/Benzo(a)pyren (BghiP/BaP) Høj ved emission fra trafikken
- Coronen/Benzo(a)pyren (Coronen/BaP) Høj ved emission fra trafikken
- Reten/Dibenz(ah)anthracen (Reten/DiBahA) Høj ved forbrænding af nåletræ

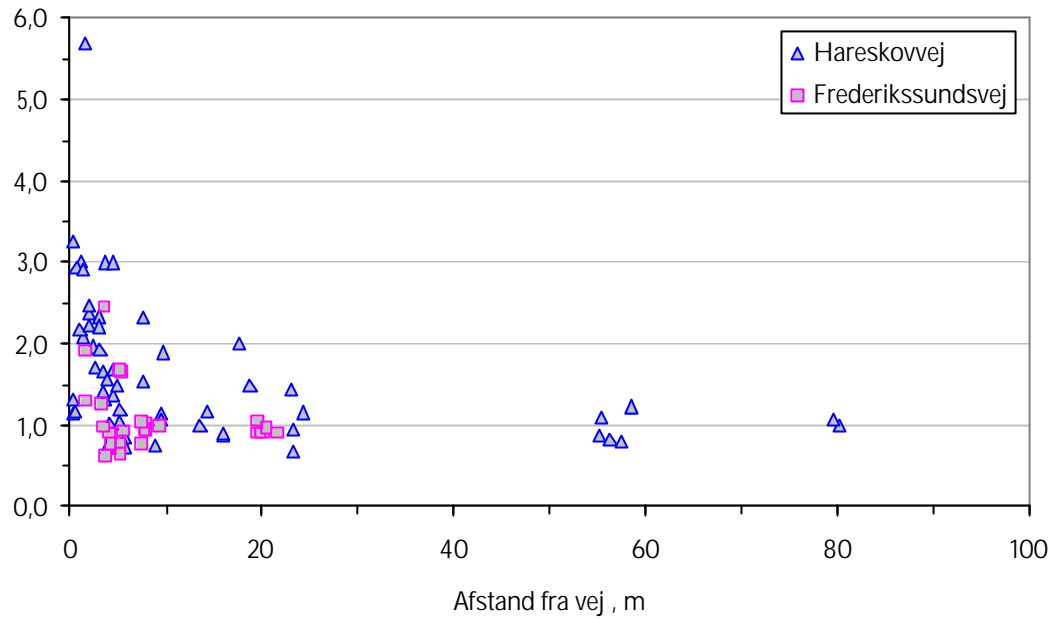
I figur 3.16 – 3.19 er disse fire indekser vist som en funktion af afstanden fra vejkanten.

Som det ses af figur 3.16, 3.17 og 3.18, er der en tendens til, at de tre indekser, som repræsenterer emissionen fra trafikken, aftager med afstanden fra vejen – afstandsforholdet er dog tydeligst for Coronen/BaP indekset langs Hareskovvej. Imidlertid ses stor spredning i indekserne inden for samme afstandsinterval. Dette kan eventuelt skyldes at visse prøvetagningsfelter viser afvigende lavere eller højere BaP - værdier i forhold til afstanden fra vejkanten langs både Hareskovvej og Frederikssundsvej. I disse felter kan der have været fjernet jord (lave værdier - jorden er ikke belastet af emission fra trafikken) eller at der er en anden kilde (høje værdier - jorden er belastet af en anden type PAH-forbindelse, f.eks. tjære).



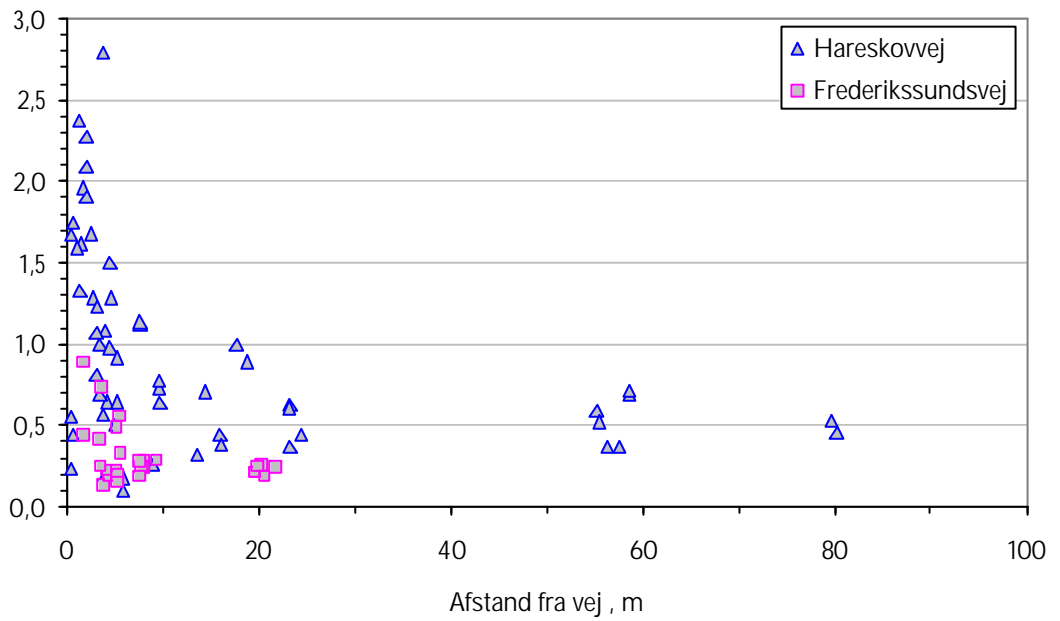
Figur 3.16 Indeks for sum af alkylphenanthren/phenanthren som funktion af afstanden fra vejkanten  
 Index for sum of alkylphenanthrenes/phenanthrene as a function of distance from road verge

BghiP/BaP



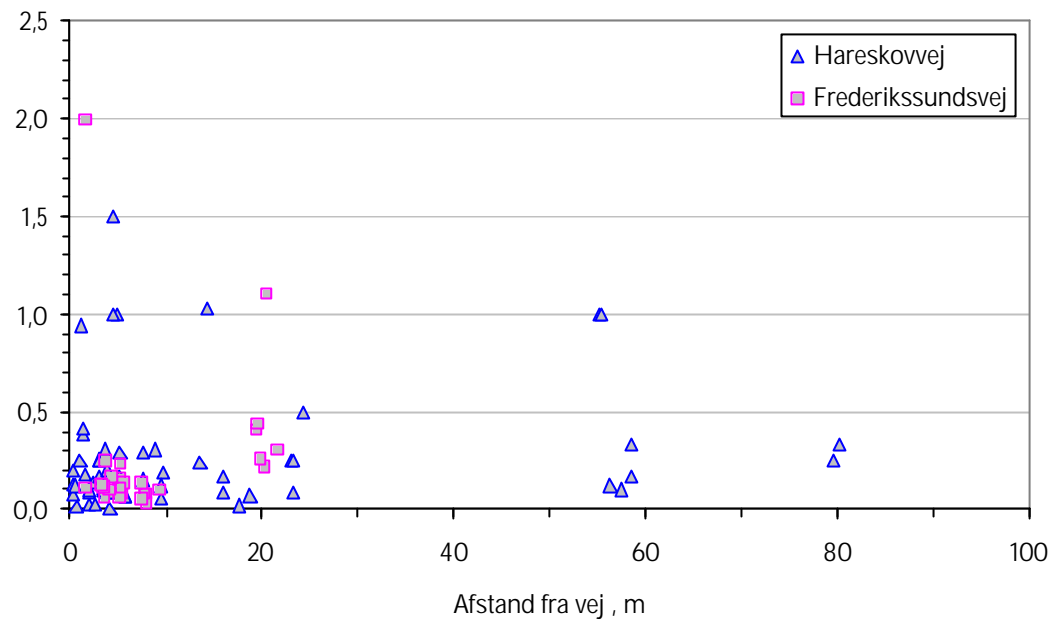
Figur 3.17 Indeks for Benzo(ghi)perylene/BaP som funktion af afstand fra vejkanten  
*Index for Benzo(ghi)perylene/BaP as a function of distance from road verge*

Cororen/BaP



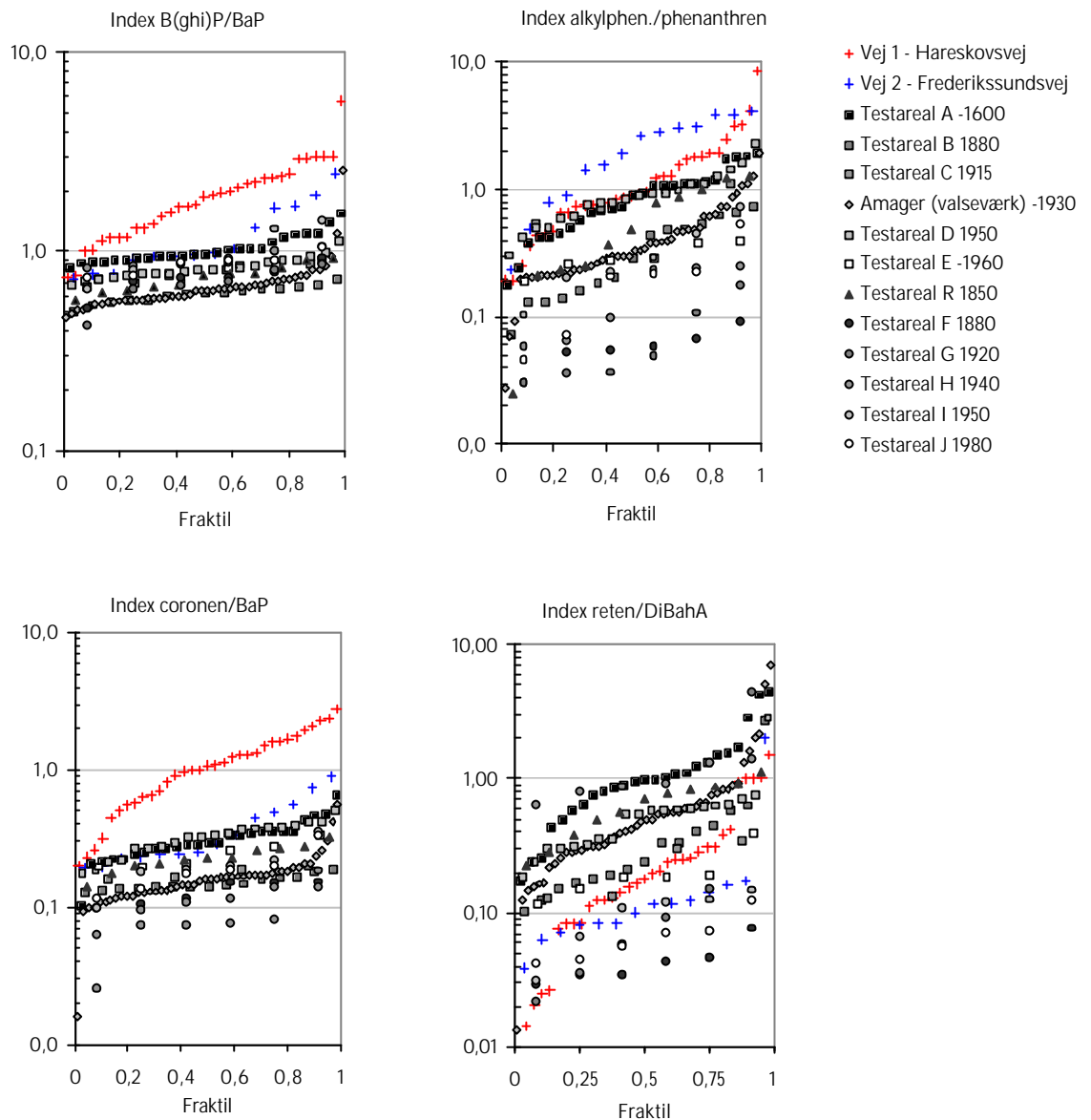
Figur 3.18 Indeks for cororene/BaP som funktion af afstanden fra vejkanten  
*Index for cororene/BaP as a function of distance from road verge*

### Reten/DiBahA



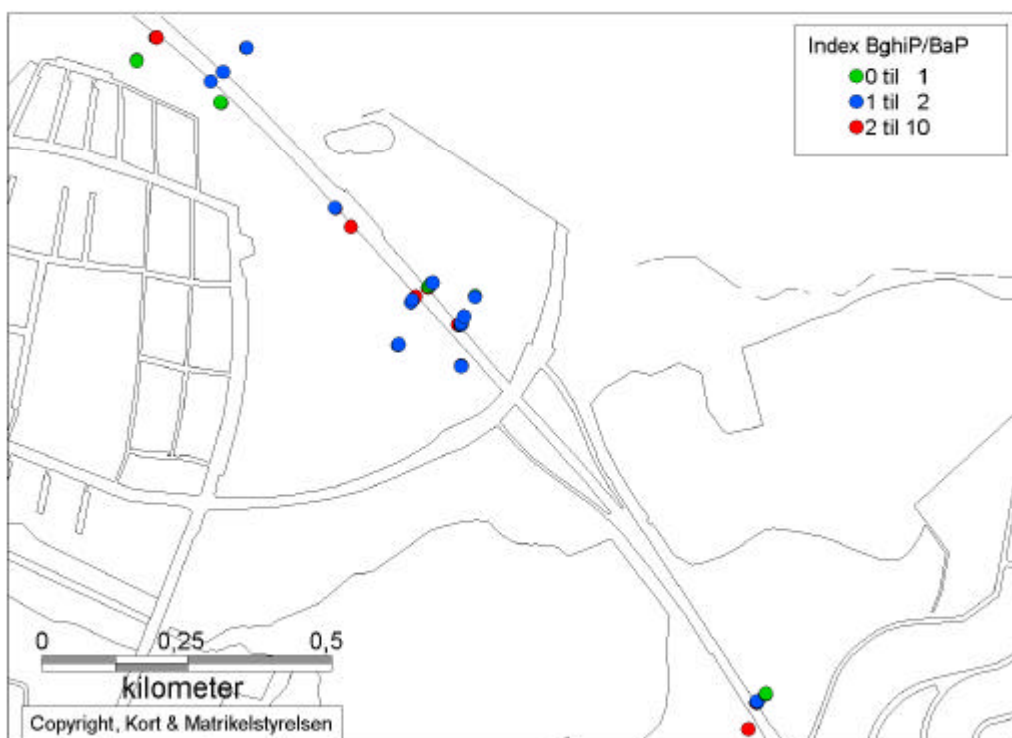
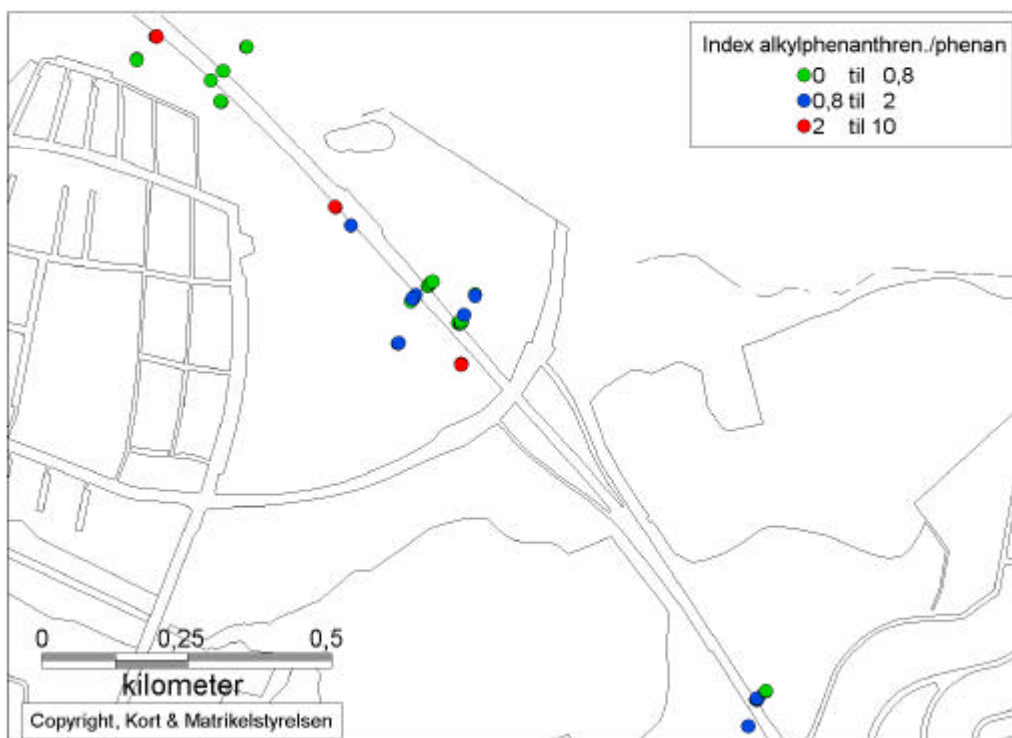
Figur 3.19 Indeks for reten/dibenz(ah)anthracen som funktion af afstanden fra vejkannten  
*Index for retene/dibenz(ah)anthracene as a function of distance from road verge*

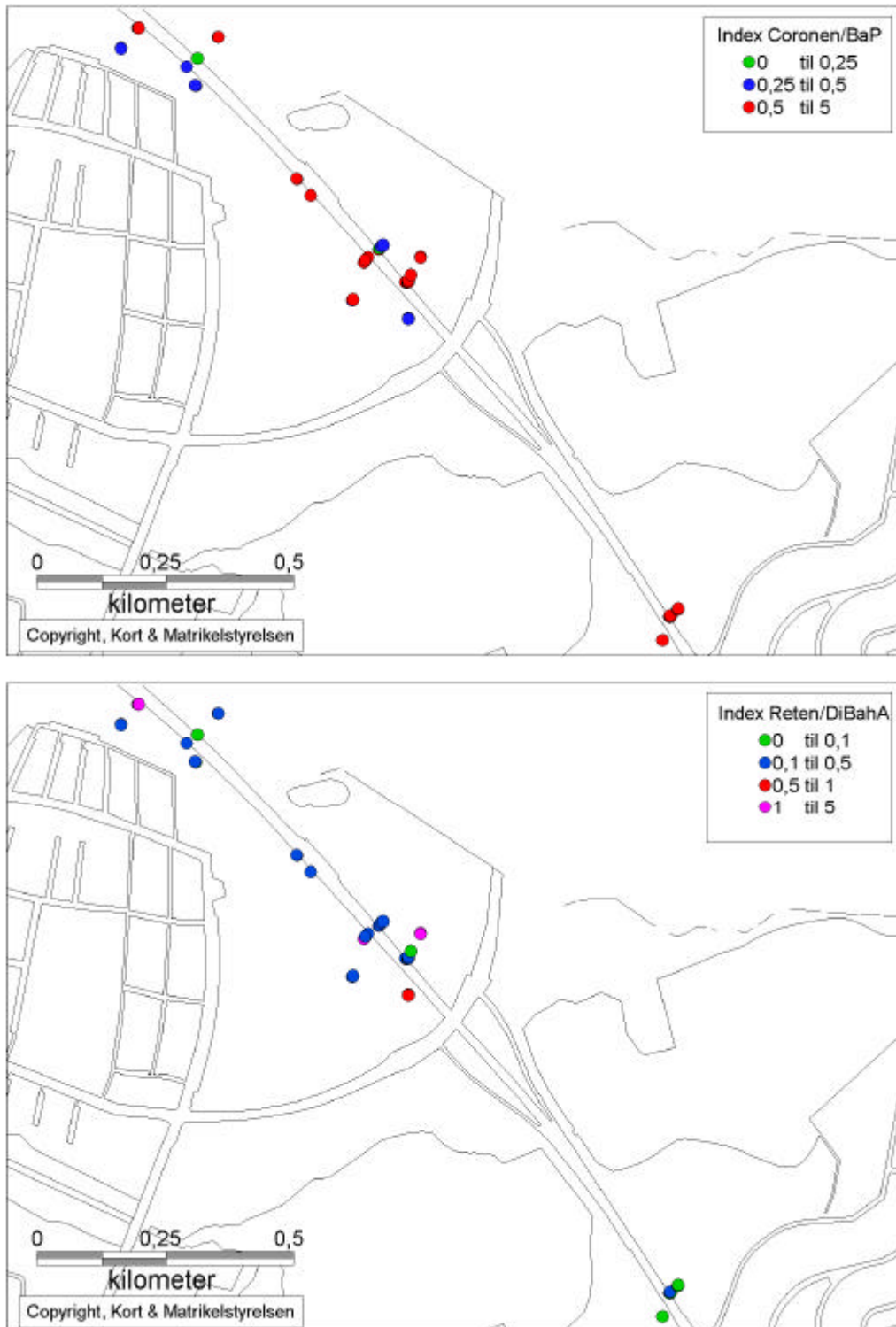
I figur 3.20 ses fraktilplots af de fire indekser for prøver fra 0 - 10 cm's dybde fra alle testarealer, dvs. langs de to veje, i kulturlag af forskellige alder og omkring et valseværk på Amager. Dataene vises som logfraktil-plot, idet der ses store spredninger i indeksene, som formentlig skyldes, at højere indhold af indikatorstof nemt kan sløres ved tilstedeværelse af andre PAH-kilder. PAH-sammensætningen er diskuteret i detaljer i datarapport for kulturlag /11/. Som det ses af figur 3.20, viser de fire PAH-indekser for jordprøver langs Hareskovvej og Frederikssundsvej andre tendenser i forhold til testarealer, der alene er påvirket af kulturlag, idet de tre indekser - benzo(ghi)perylen, alkylphenanthrener og coronen - for emission fra trafik er forholdsvis højt, men indekset for forbrænding af nåletræ er forholdsvis lavt. PAH-indholdet i prøver udtaget langs vejnet er dog ikke højere end i andre prøver fra de tilgrænsende områder ved henholdsvis Tingbjerg (Hareskovsvej) og Banefløjen (Frederikssundsvej) som er undersøgt i datarapport om kulturlag /11/.



Figur 3.20 Indekser for PAH-sammensætning i prøver langs veje sammenlignet med prøver fra kulturlaget  
*Indexes for PAH composition in samples along roads compared with samples from historic fill*

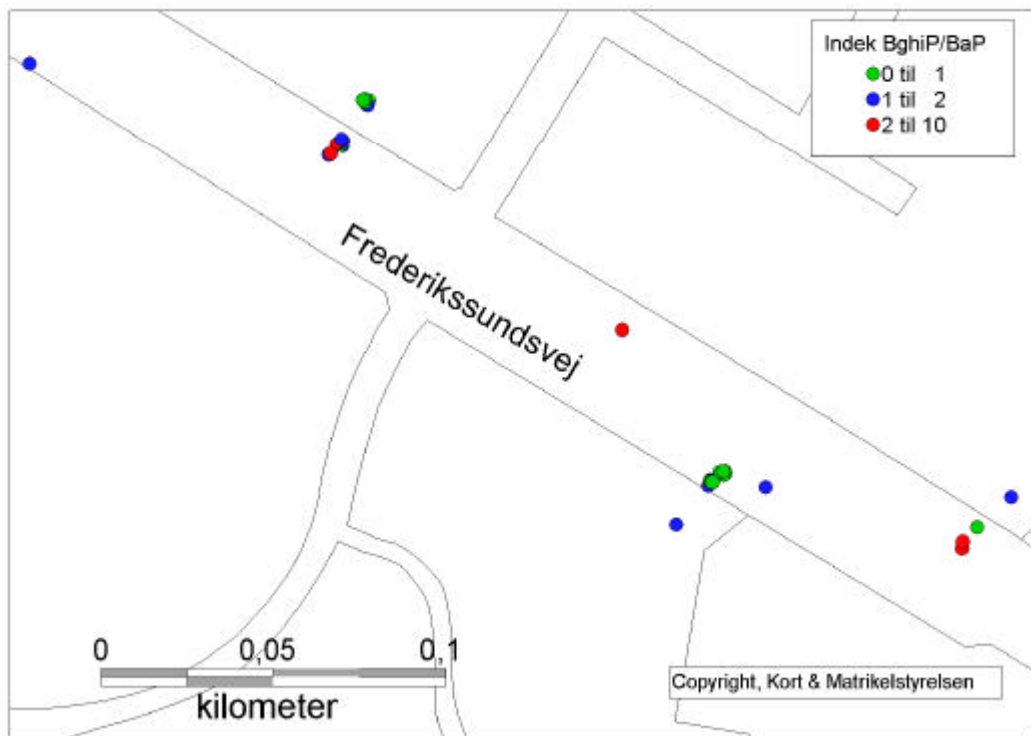
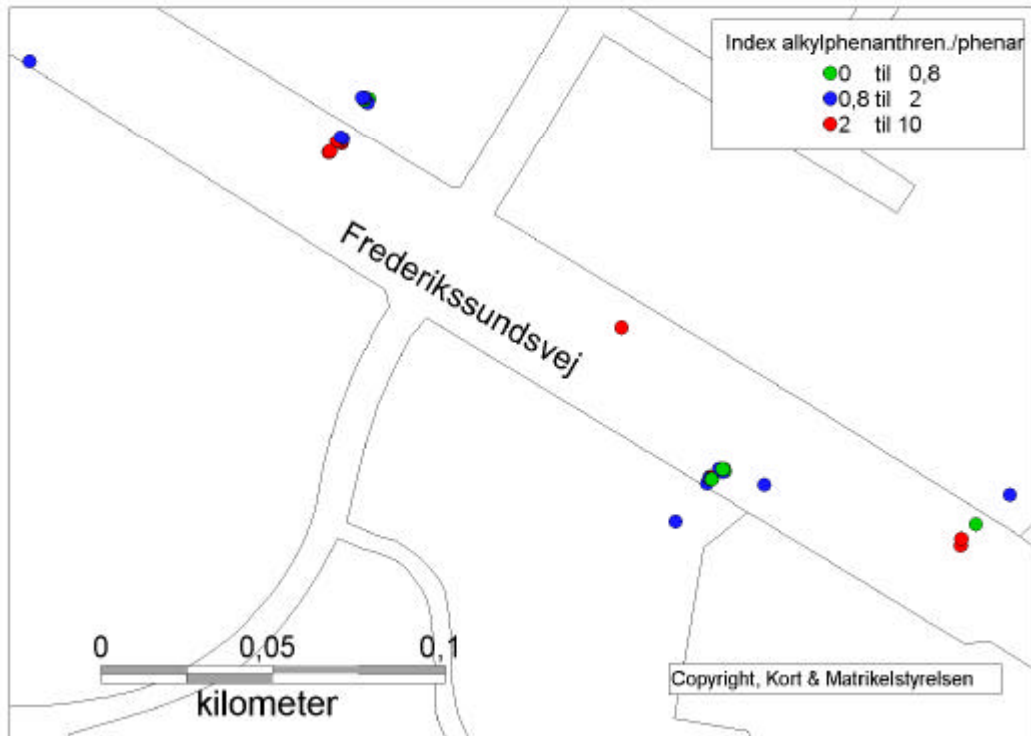
Som det fremgår af figur 3.16 - 3.20 er der alligevel mange prøver som ikke viser høje indeks på trods af, at de er udtaget tæt på vejen. I figur 3.21 og 3.22 er de fire indekser illustreret på kortene, og det ses, at indekserne ofte er lave i prøver med lavt indhold af BaP. Dette indikerer, at der i disse positioner er fjernet jord og dermed forurening.

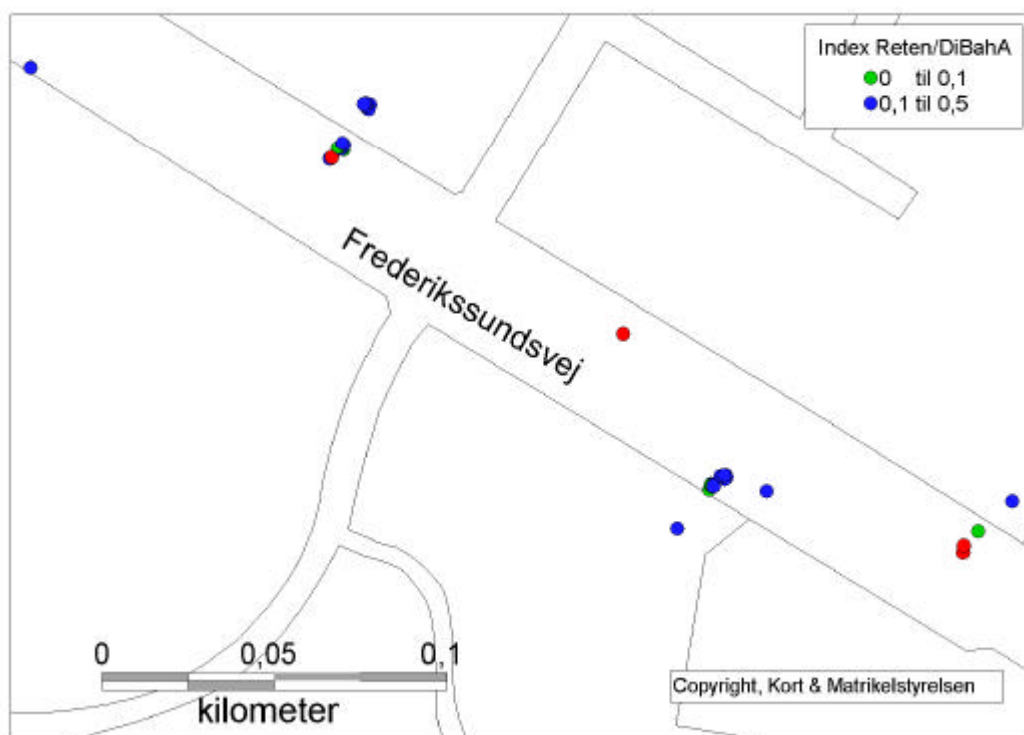
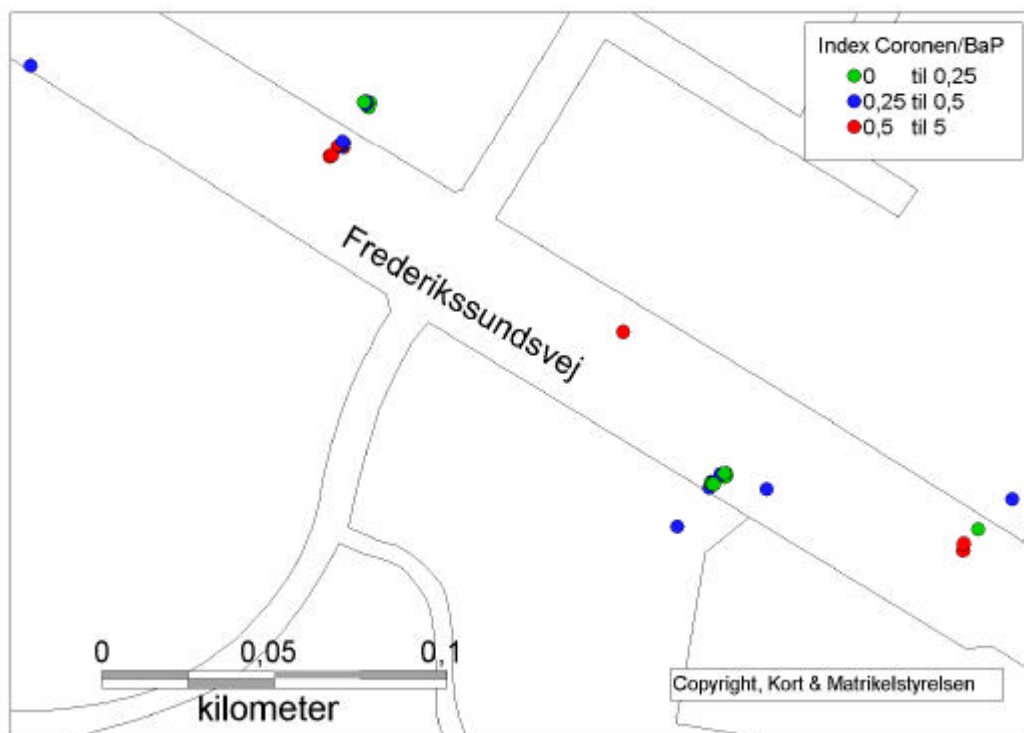




Figur 3.21 Indekser for PAH- sammensætning langs Hareskovvej  
*Index for PAH composition along Hareskov road*







Figur 3.22 Indekser for PAH- sammensætning langs Frederikssundsvej  
*Index for PAH composition along Frederikssund road*

### 3.5 Konklusion

Tæt på de to veje er indholdet af bly, kobber, zink og PAH, herunder benzo(a)pyren, forhøjet. JKK og til dels ASK overskrides primært for bly og BaP, men koncentrationerne falder i dybden i jordprofilet (0- 1,05 m) samt

med afstanden fra vejen. Forurening kan måles inden for en afstand af ca. 10 – 15 m fra vejkanten. Ved større afstande kan påvirkning fra trafikken sjældent skelnes fra baggrundsniveauet for området. Imidlertid er der alligevel en del prøver med lavt indhold tæt på vejen, og det antages, at der ved enkelte prøvetagningsfelter er foretaget jordudskiftning eller afhøvling af jord i forbindelse med vedligeholdelse og anlægsarbejde.

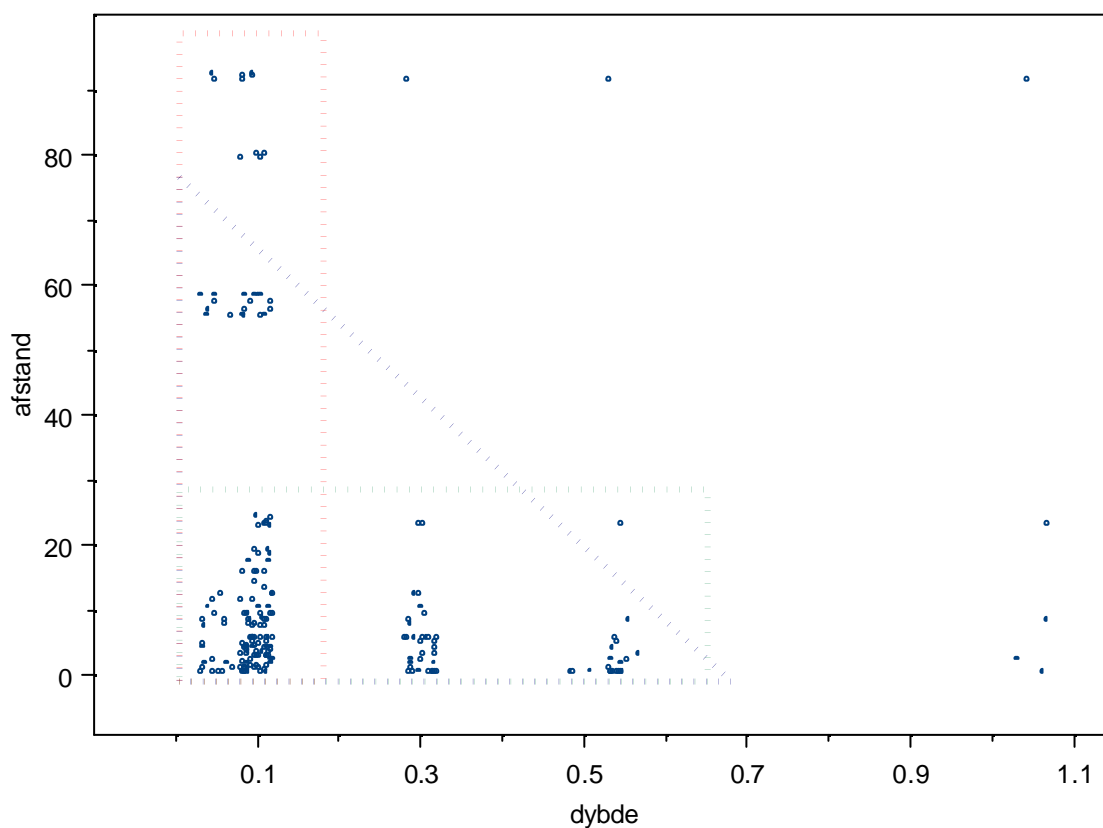


## 4 Statistisk analyse af Hareskovvej

Formålet med denne statistiske analyse er at belyse relationer/korrelationer mellem koncentrationerne af bly, chrom, kobber, nikkel, zink, benzo(a)pyren og sum af PAH i jordprøver udtaget i varierende afstand og dybde i forhold til en trafikeret vej. Analysen er baseret på data for prøver udtaget langs Hareskovvej, idet der her er indsamlet flest data og påvirkning fra andre kilder er minimal.

### 4.1 Deskriptiv statistik

Målepunkterne dækker et areal udspændt af 1148 m (i øst-vest (x)-retningen) gange 1206 m (i nord-syd (y)-retningen). Alle 213 kombinationer af afstande og dybder er plottet ind i figur 4.1. For at give et bedre visuelt indtryk af kombinationer af afstand og dybde er overlappende punkter forskudt en smule (både vertikalt og horisontalt). Grundet manglende observationer vil en beskrivelse af sammenhænge for store afstande og dybder være behæftet med stor usikkerhed.

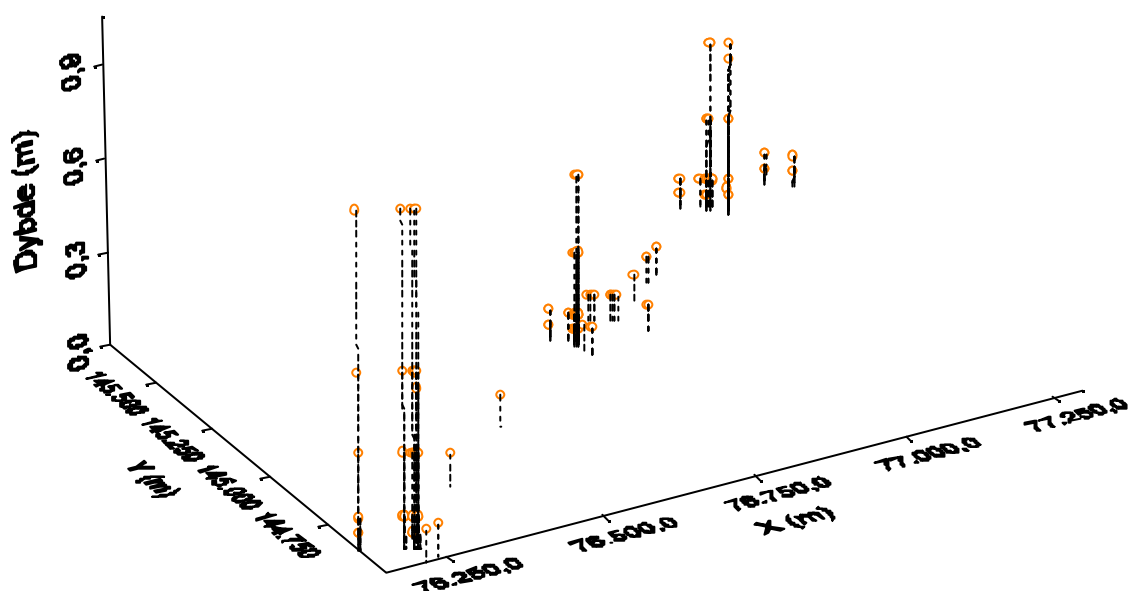


Figur 4.1 Målepositioners dybde (meter) og afstanden (meter) fra vejen.  
*The sampling position as related to distance from road verge and depth in soil*

Mulige dataanalyser er i figur 4.1 afmærket med følgende farver:

- Rød : Afstand for små dybder
- Grøn : Dybde for små afstande
- Blå : Moderate dybder og afstande

Målepunkternes geografiske position samt dybde er plottet ind i figur 4.2. Som det ses af figur 4.2, er prøverne udtaget med forskellige afstande og dybder i de forskellige prøvetagningstværsnit. Det er derfor vanskeligt at skille variationen, der skyldes afstand eller dybde, og variationen eller særlige forhold langs de pågældende tværsnit.



Figur 4.2. Målepunkternes positioner vist som funktion af dybde  
*Sampling positions shown as a function of depth*

I tabel 4.1 angives deskriptive statistikker for samtlige datapunkter.

	Antal	Min	gns.	median	Max	Std. afv.
Bly	213	7	116	69	510	110
Chrom	213	5	25	24	130	18
Kobber	213	7,7	52	37	410	56
Nikkel	213	2,5	9	8	230	81
Zink	213	24	130	110	490	1500
BaP	213	0,002	0,35	0,068	18	1,5
PAH	213	0,006	1,3	0,36	38	3,6

gns. : gennemsnit      Std. afv. : standardafvigelse

Tabel 4.1 Deskriptive statistikker for samtlige datapunkter – Hareskovvej  
*Descriptive statistics for all data – Hareskov road*

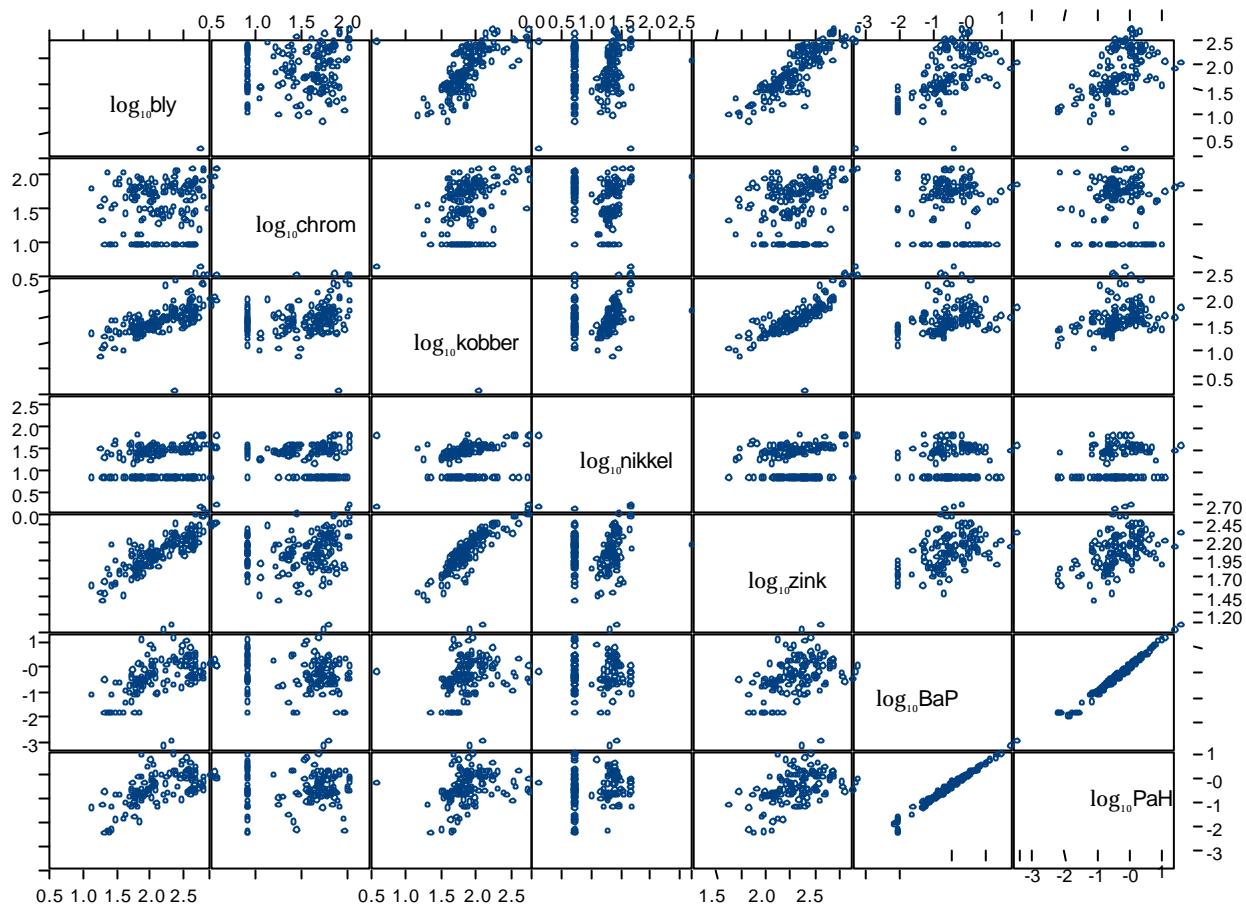
Som det ses af tabel 4.1, er gennemsnitsværdi og medianer væsentligt forskellige og fordelingerne højreskæve (lang højre hale). I tabel 4.2 er angivet statistikker for de  $\log_{10}$ -transformerede data.

	Antal	Min	1. kvartil (25%)	gns.	median	3. kvartil (75%)	Max	Std. afv.
$\log_{10}$ Bly	213	0,85	1,56	1,88	1,84	2,25	2,71	0,42
$\log_{10}$ Chrom	213	0,7	1,02	1,27	1,38	1,56	2,11	0,36
$\log_{10}$ Kobber	213	0,89	1,42	1,61	1,57	1,72	2,61	0,28
$\log_{10}$ Nikkel	213	0,4	0,4	0,78	0,90	1,04	2,37	0,35
$\log_{10}$ Zink	213	1,38	1,89	2,06	2,05	2,22	2,69	0,25
$\log_{10}$ BaP	213	-2,70	-1,44	-1,12	-1,17	-0,70	0,90	0,65
$\log_{10}$ PAH	213	-2,22	-0,69	-0,38	-0,44	0,041	1,58	0,64

gns. : gennemsnit Std. afv. : standardafvigelse

Tabel 4.2 Deskriptive statistikker for  $\log_{10}$ -transformerede data – Hareskovvej  
*Descriptive statistics for  $\log_{10}$  transformed data – Hareskovvej*

I den følgende dataanalyse anvendes de  $\log_{10}$ -transformerede data. Med henblik på at belyse korrelationen mellem parametrene er alle data plottet mod hinanden, se figur 4.3.



Figur 4.3 Scatterplot af de  $\log_{10}$ -transformerede værdier for alle parametre  
*Scatter plot of  $\log_{10}$ -transformed parameters*

Som det ses af figur 4.3, er der næsten 100% korrelation mellem BaP og sum af PAH.

For chrom og nikkel betyder de mange målinger under detektionsgrænsen, at der opstår en ret linie i alle plot med disse stoffer med henholdsvis 35 og 68 observationer med log-værdier på henholdsvis 0,7 og 0,4.

Korrelationskoefficienterne for de logaritme-transformerede data er vist i tabel 4.3.

	log <sub>10</sub> Pb	log <sub>10</sub> Cr	log <sub>10</sub> Cu	log <sub>10</sub> Ni	log <sub>10</sub> Zn	log <sub>10</sub> BaP	log <sub>10</sub> PAH
log <sub>10</sub> Pb							
log <sub>10</sub> Cr	0,18						
log <sub>10</sub> Cu	0,74	0,38					
log <sub>10</sub> Ni	0,15	0,14	0,23				
log <sub>10</sub> Zn	0,86	0,29	0,89	0,14			
log <sub>10</sub> BaP	0,64	0,009	0,30	0,12	0,47		
log <sub>10</sub> PAH	0,67	0,053	0,34	0,15	0,52	0,98	

- ikke beregnet

Positiv værdi (begge parametre vokser)

Negativ værdi (en parameter aftager, en vokser)

> 0,87 God korrelation

0,5 - 0,71 Tvivlsom korrelation

0,71 - 0,87 Rimelig korrelation

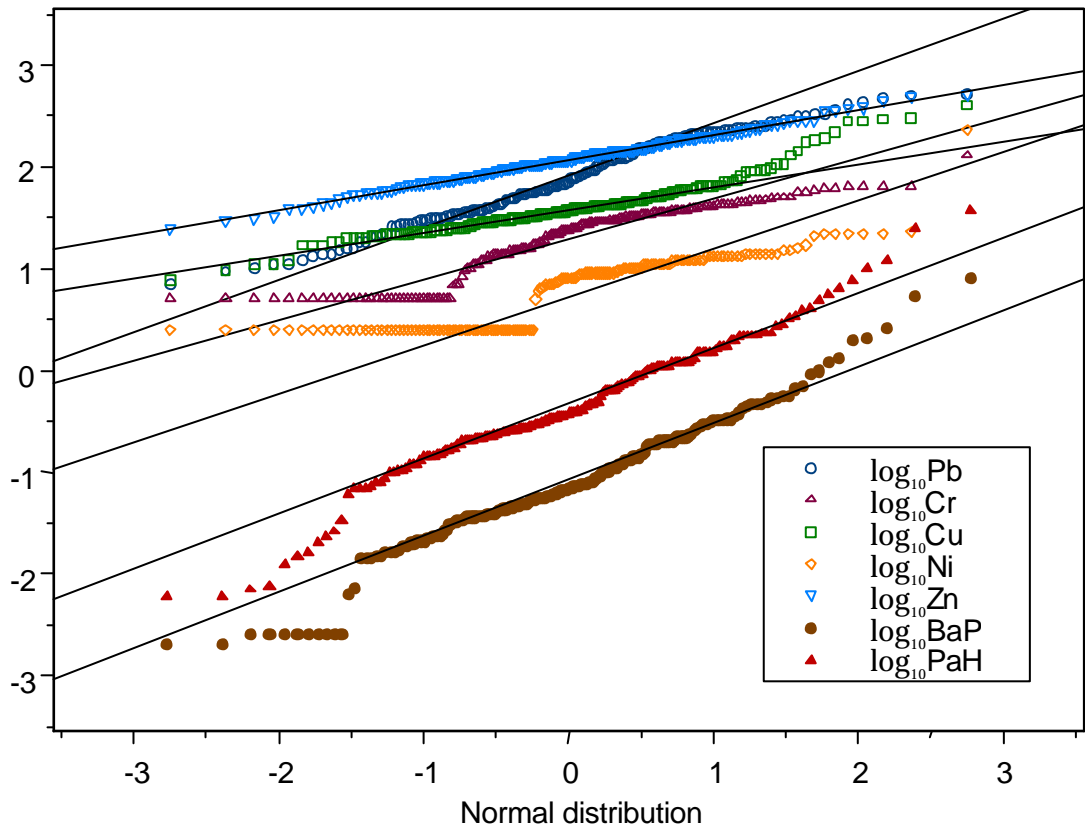
< 0,5 Ingen korrelation

Tabel 4.3 Korrelation mellem parametre  
*Correlation between parameters*

Som det ses af tabel 4.3, er der god korrelation mellem BaP og PAH samt mellem bly, kobber og zink. Korrelationen mellem BaP/PAH og metallerne er mere tvivlsom, og ses tydeligst for bly (0,64/0,67). Der er ringe korrelation mellem krom og nikkel og de øvrige variable.

For visuelt at undersøge om de log<sub>10</sub>-transformerede data er normalfordelte, er der i figur 4.4 vist et normalfordelings-fraktilplot (Q-Q-plot).





Figur 4.4 Q-Q-plot af de  $\log_{10}$ -transformerede data  
*Q-Q plot of the  $\log_{10}$  transformed data*

Her bemærkes igen påvirkningen fra data under detektionsgrænsen for chrom og nikkel. Yderligere bemærkes "S"-formen for benzo(a)pyren og PAH, hvilket indikerer, at selv logaritmere-værdierne udviser fordelinger med lange haler.

#### 4.2 Analyse af koncentration, afstand og dybde

Dette afsnit beskriver indledende relationer mellem koncentration, afstand og dybde for de enkelte stoffer. Der er lavet et box-whisker plot for de enkelte stoffer, betinget af afstande og dybder, jf. figur 4.4 - 4.10.

Hver figur består af 6 delplot (1 - 6) baseret på data ved 3 afstandsintervaller:

- 0,4 : 3,4 m - delplot 1 og 2
- 3,4 : 9,5 m - delplot 3 og 4
- 9,5 : 93 m - delplot 5 og 6

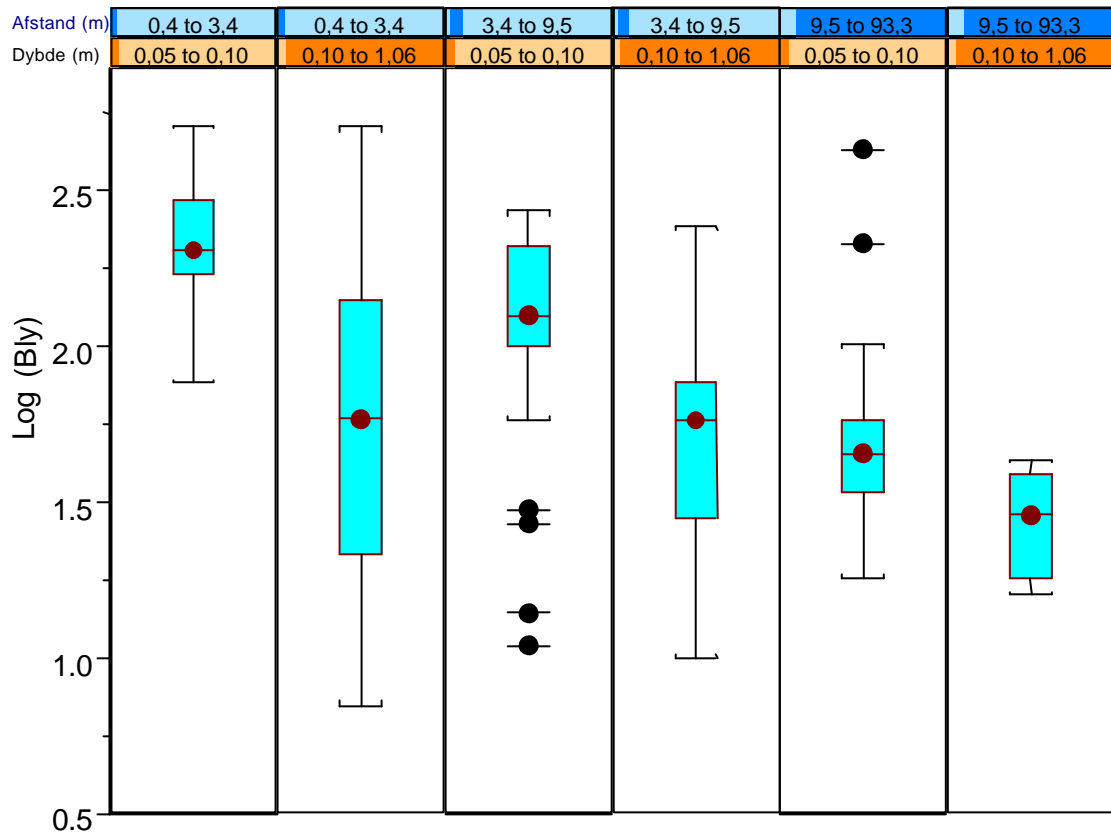
Inden for hvert afstandsinterval er dataene inddelt i to intervaller:

- 0,05 : 0,1m - delplot 1, 3 og 5
- 0,1 : 1.06 m] - delplot 2, 4 og 6

I figur 4.4 vises et box-whisker plot, hvor boksen (lyseblå) angiver intervallet mellem den 1. og 3. kvartil, som svarer til 25% og 75% fraktiler. Den røde

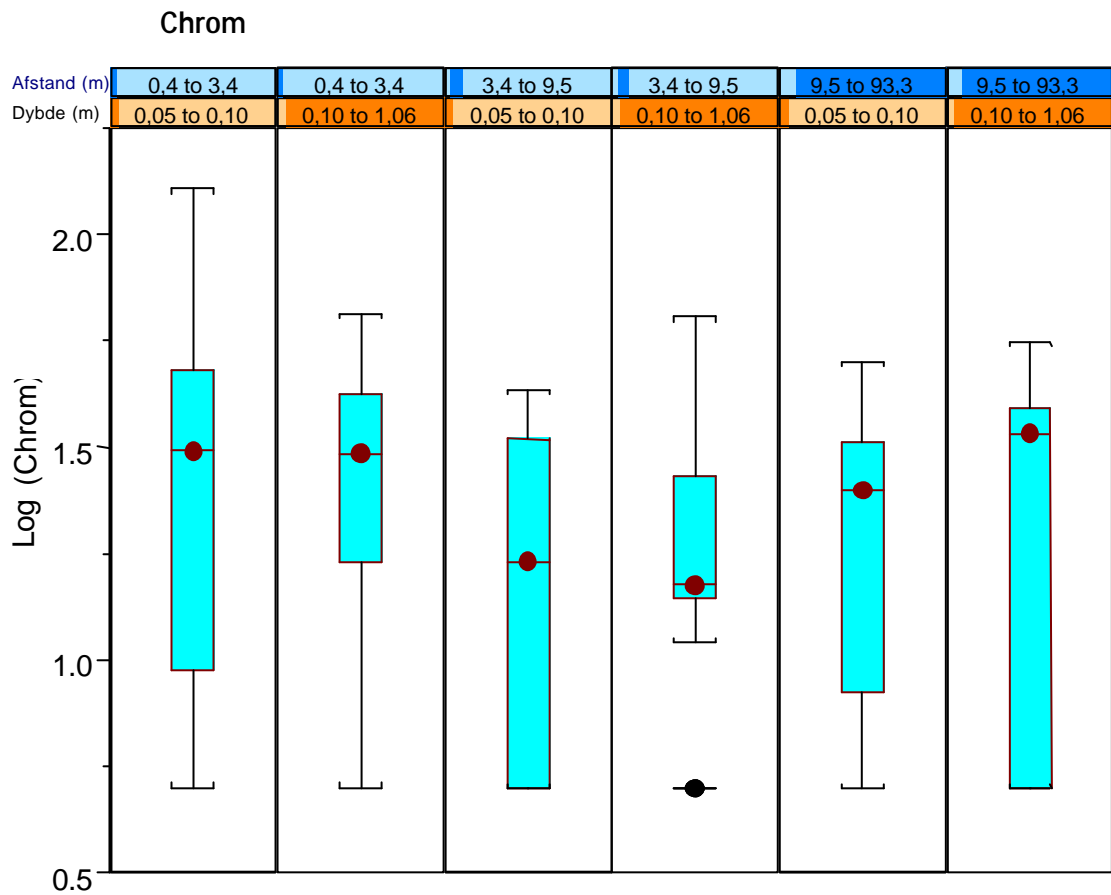
cirkel med streg igennem inde i boksen angiver medianen. Den formodede naturlige fordeling er angivet med de øvre og nedre sorte "whiskers". Afvigende værdier er angivet med en sort cirkel og en sort streg.

### Bly



Figur 4.5 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{bly})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed lead with respect to distance and depth*

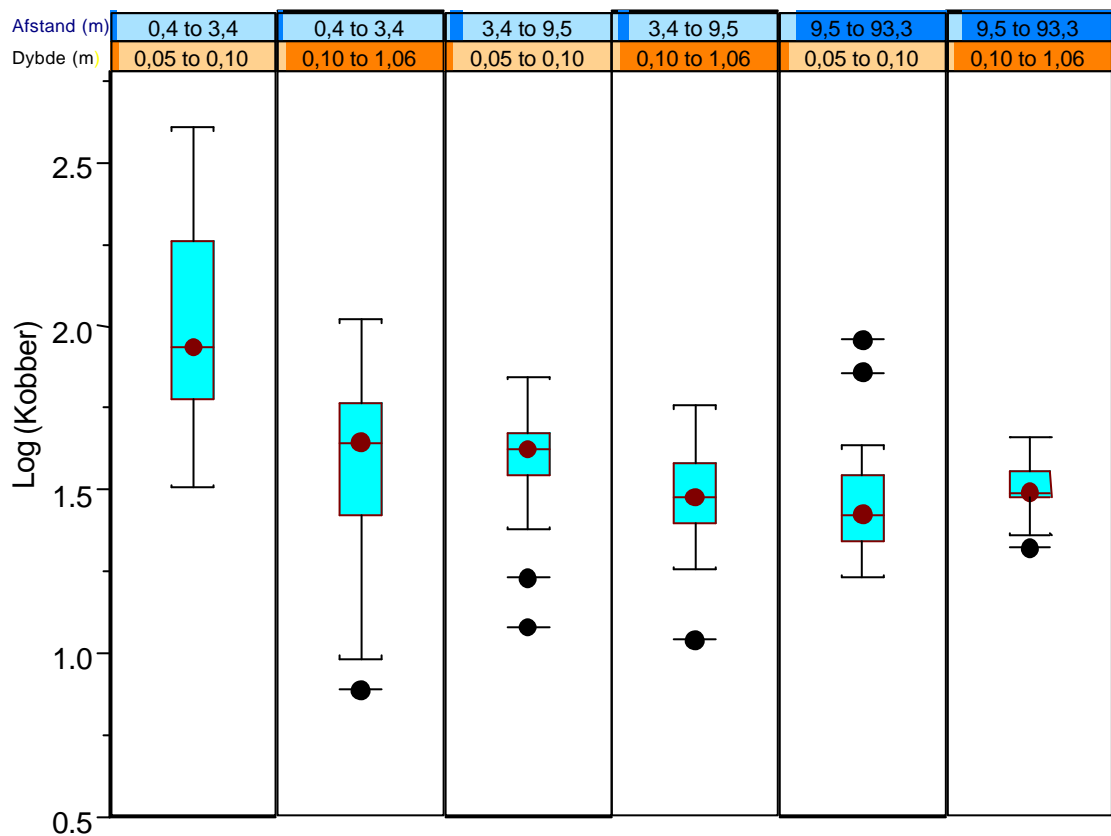
I figur 4.5 ses på delplot 1, 3 og 5 samt delplot 2, 4 og 6 aftagende koncentrationer med stigende afstand for såvel det øverste jordlag som for de nederste, dog tydeligst i de øverste jordlag 0,05 – 0,1 m's dybde (delplot 1, 3, og 5). For de tre afstandsintervaller, dvs. delplot 1 og 2, delplot 3 og 4 samt delplot 5 og 6 ses, at koncentrationen er lavere i de nederste jordlag.



Figur 4.6 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{chrom})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed chromium with respect to distance and depth*

På delplot 1, 3 og 5 samt delplot 2, 4 og 6 i figur 4.6 ses ingen umiddelbar sammenhæng mellem koncentration og afstand for hverken det øverste eller de nederste jordlag. For de tre afstandsintervaller, dvs. delplot 1 og 2, delplot 3 og 4 samt delplot 5 og 6 ses heller ikke umiddelbart nogen sammenhæng mellem koncentration og dybde i de tre afstandsintervaller.

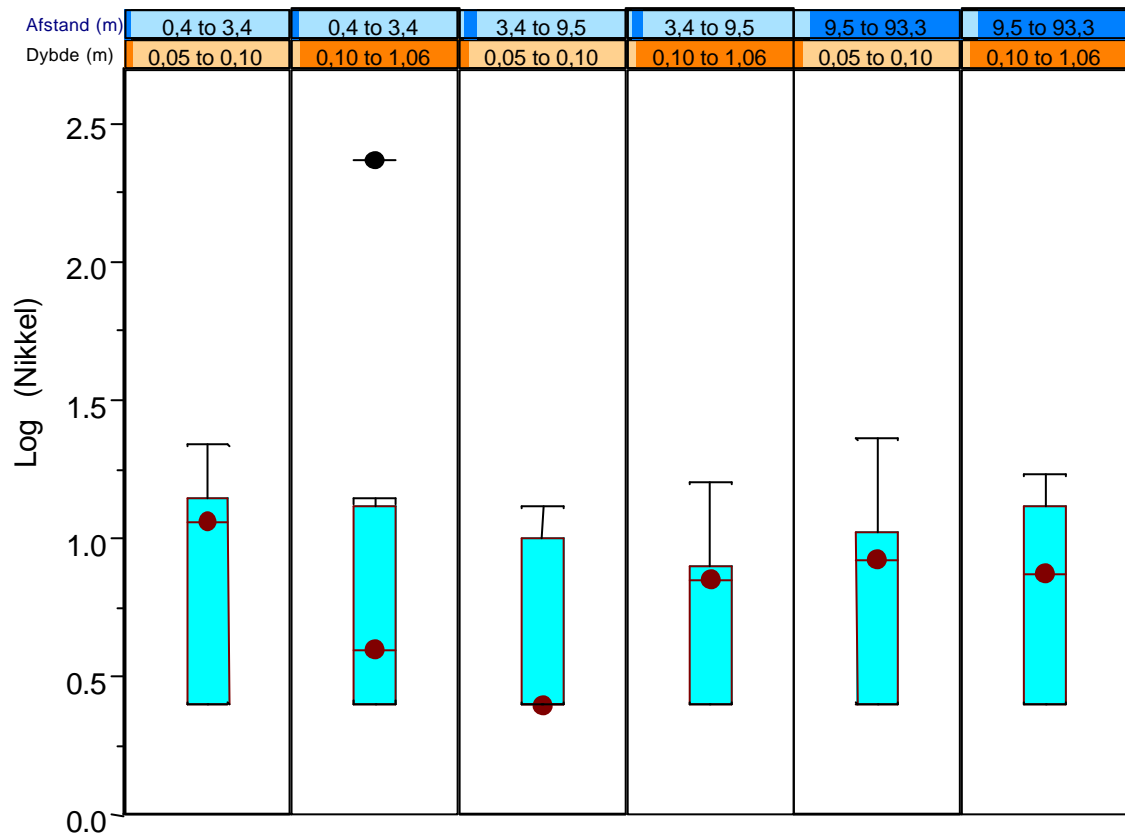
## Kobber



Figur 4.7 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{kobber})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed copper with respect to distance and depth*

På delplot 1, 3 og 5 i figur 4.7 ses aftagende koncentration med stigende afstand for det øverste jordlag, men ingen umiddelbar tendens for det nederste jordlag (delplot 2, 4 og 6). For de tre afstandsintervaller, dvs. delplot 1 og 2, delplot 3 og 4 samt delplot 5 og 6 ses, at koncentrationen for afstandsinterval 0,4-3,4 m (delplot 1 og 2) og til dels ved 3,4 – 9,5 m (delplot 3 og 4) er lavere i de nederste jordlag.

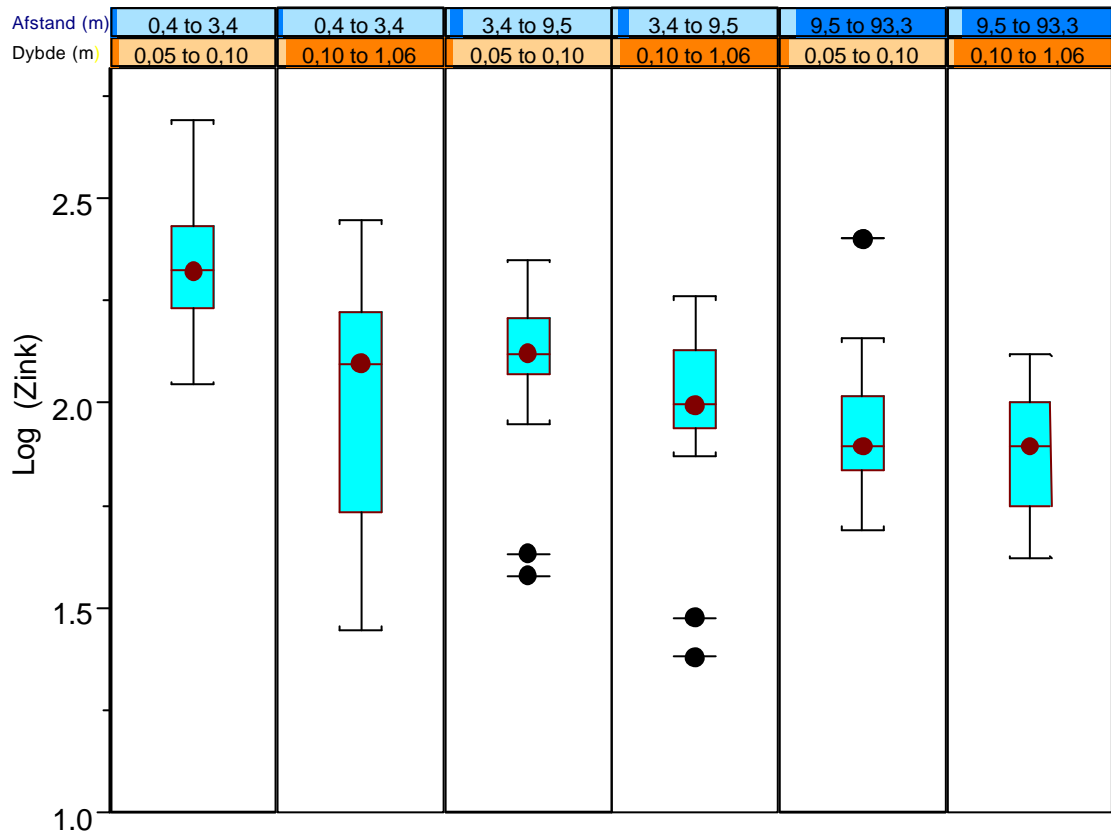
## Nikkel



Figur 4.8 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{nikkel})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed nickel with respect to distance and depth*

For nikkel ses ingen umiddelbare tendenser, se figur 4.8.

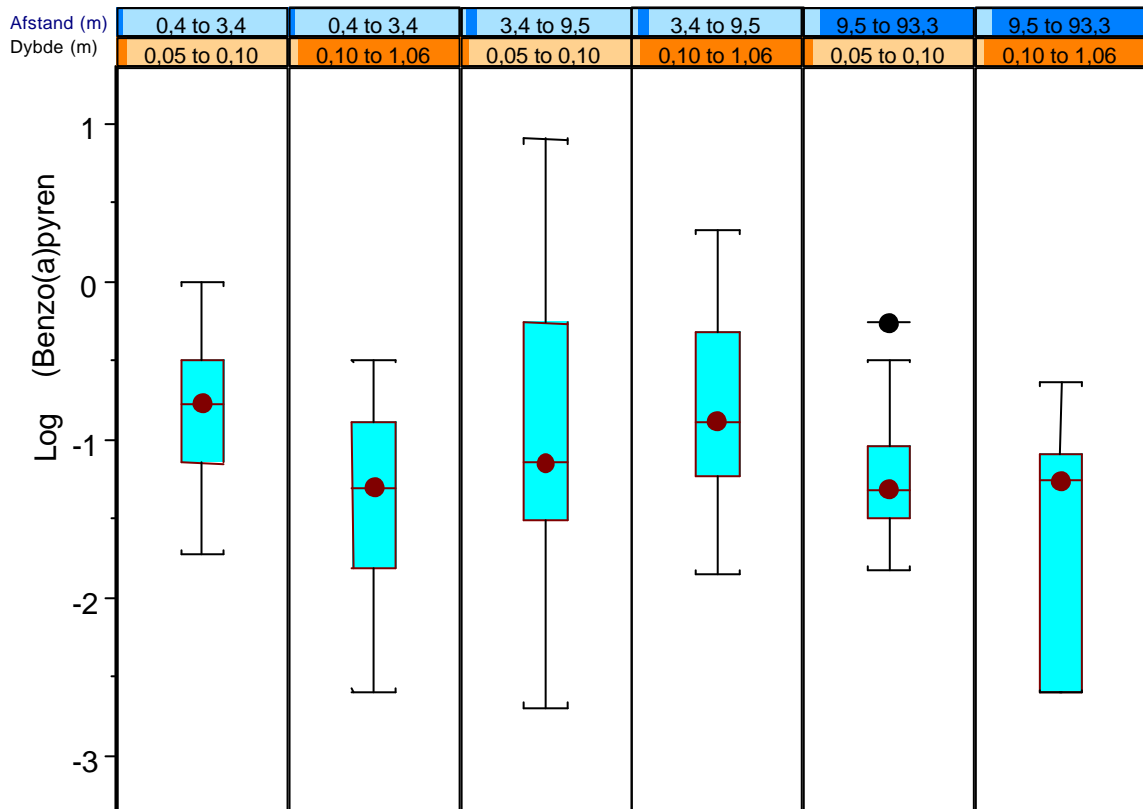
## Zink



Figur 4.9 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{zink})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed zinc with respect to distance and depth*

På delplot 1, 3 og 5 samt delplot 2, 4 og 6 i figur 4.9 ses aftagende koncentration med stigende afstand for såvel det øverste jordlag som for de nederste. Dog er afstandsafhængigheden tydeligst i de øverste jordlag (delplot 1, 3, og 5). For de tre afstandsintervaller, dvs. delplot 1 og 2, delplot 3 og 4 samt delplot 5 og 6 ses, at koncentrationen for alle tre afstande er lavere i de nederste jordlag.

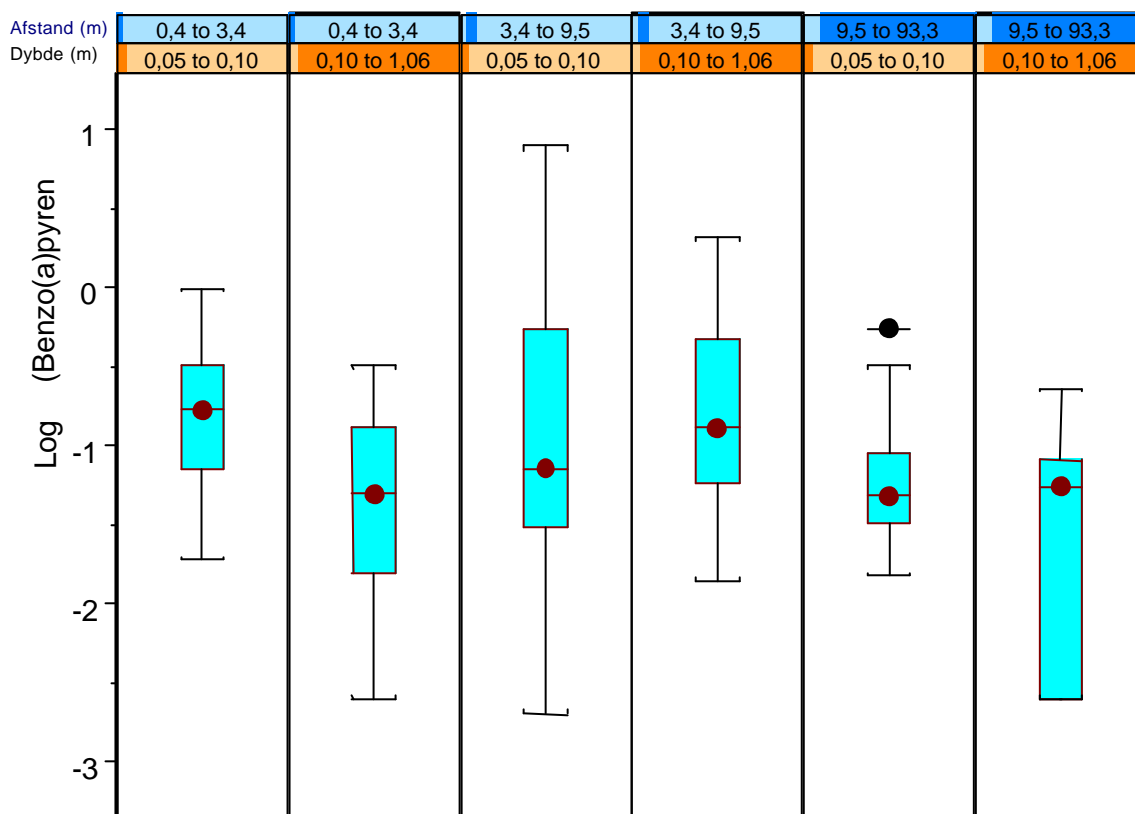
## Benzo(a)pyren



Figur 4.10 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{Benzo(a)pyren})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  log transformed BaP with respect to distance and depth*

For benzo(a)pyren ses ingen umiddelbar tendenser, se figur 4.10.

## PAH



Figur 4.11 Box Whisker-plot for  $\log_{10}(\text{PAH})$  betinget af afstand og dybde  
*Box Whisker plot for  $\log_{10}$  transformed PAH with respect to distance and depth*

For PAH ses ingen umiddelbar tendenser, se figur 4.11.

### 4.3 Principal Komponent analyse (pca)

Principal Komponent Analyse - PCA er en metode til at reducere dimensionen af et flerdimensionalt datasæt og derved få mulighed for at afsløre strukturer i det oprindelige datasæt samt beskrive disse med færre variabler, dvs. som linearkombinationer af de oprindelige variabler.

Baseret på figur 4.3 og korrelationen imellem de enkelte variabler i tabel 4.3 udføres en PCA på henholdsvis bly, chrom, kobber og zink.

I dette 4-dimensionale datasæt findes følgende 4 principale komponenter:

	Komp. 1	Komp. 2	Komp. 3	Komp. 4
Std. afvigelse	1,7	0,95	0,485	0,28
Relativ andel af varians	0,7	0,22	0,059	0,02
Kumulativ andel af varians	0,7	0,92	0,98	1,00

Tabel 4.4 Betydning af de fire komponenter for beskrivelsen af varians  
*Importance of components for the description of variance*



Det ses, at komponent nr. 1 beskriver 70% af den samlede variation og komponent nr. 2 22%. Disse komponenter er beskrevet ved linearkombinationer af de oprindelige variabler, jf. tabel 4.5.

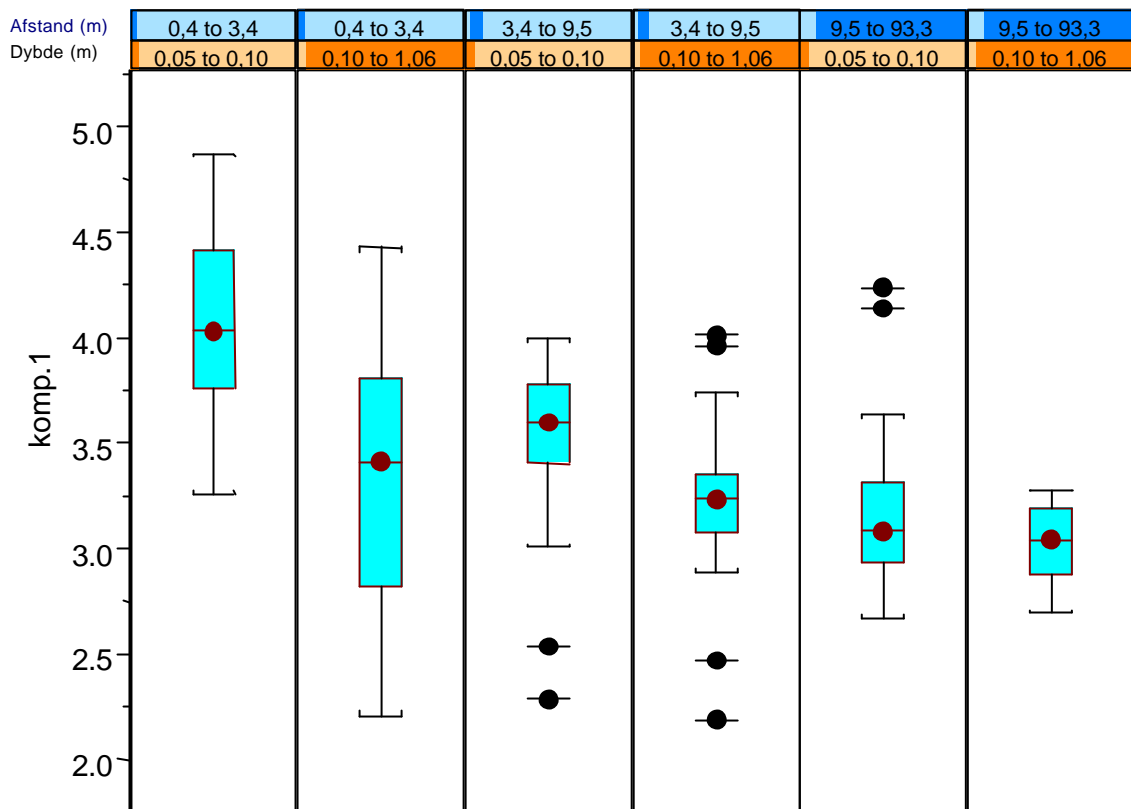
	Komp. 1	Komp. 2	Komp. 3	Komp. 4
$\log_{10}$ bly	0,533	0,292	-0,717	0,341
$\log_{10}$ chrom	0,265	0,943	-0,200	
$\log_{10}$ kobber	0,561		0,658	-0,503
$\log_{10}$ zink	0,575	0,160	0,115	0,794

Tabel 4.5 Vægtning af de fire komponenter  
*Loading of the four components*

Dette betyder, at komponent nr. 1 beskriver forhold, hvor de 4 variabler er ens, dog har chrom ikke så stor vægt. Komponent nr. 2 beskriver forhold, hvor krom adskiller sig fra bly og zink.

Baseret på tabel 4.4 og 4.5 vil komponent nr. 1 kunne beskrive niveauet af bly, kobber og zink. Ved at beskrive komponent nr. 1's afhængighed af afstand og dybde opnås en beskrivelse af, hvordan niveauet af de tre forureningskomponenter afhænger af afstand og dybde.

Tabel 4.5 samt figur 4.2 indikerer yderligere, at bly, kobber og zink stammer fra samme kilde og spredes ens. Chrom og nikkel stammer formodentlig fra andre kilder.



Figur 4.12 Box Whisker-plot for komponent 1 betinget på afstand og dybde  
*Box Whisker plot for component 1. with respect to distance and depth*

På delplot 1, 3 og 5 samt delplot 2, 4 og 6 i figur 4.12 ses aftagende værdier med stigende afstand for såvel det øverste jordlag som for de nederste jordlag.

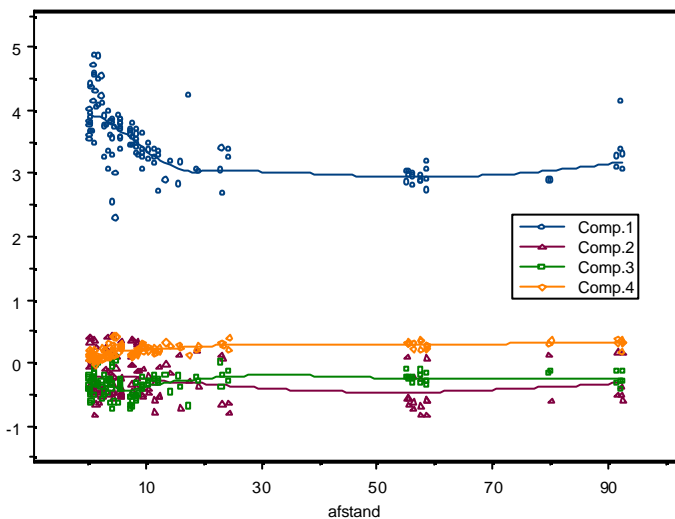
De aftagende værdier med afstanden er dog tydeligst i det øverste jordlag (delplot 1, 3, og 5). For de tre afstandsintervaller, dvs. delplot 1 og 2, delplot 3 og 4 samt delplot 5 og 6 ses, at værdierne for alle tre afstande er lavere i det nederste jordlag.

Det bemærkes, at afvigende værdier (outliers) i de originale datavariabler genfindes i de principale komponenter i delplot 3, 4 og 5.

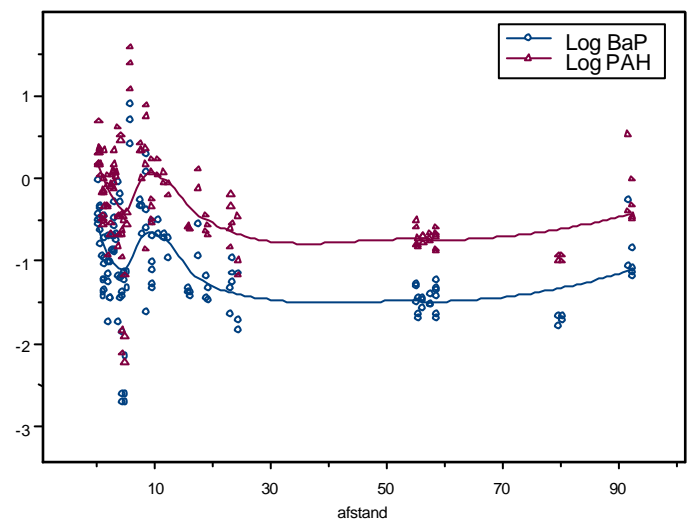
#### 4.4 Lokal regression med principale komponenter

I det følgende er der foretaget lokal regression med de principale komponenter samt benzo(a)pyren og PAH som afhængige variable og dybde samt afstand som forklarende variable. Analysen er udført i de tre områder beskrevet i figur 4.1.

##### Betydning af afstand for små dybder



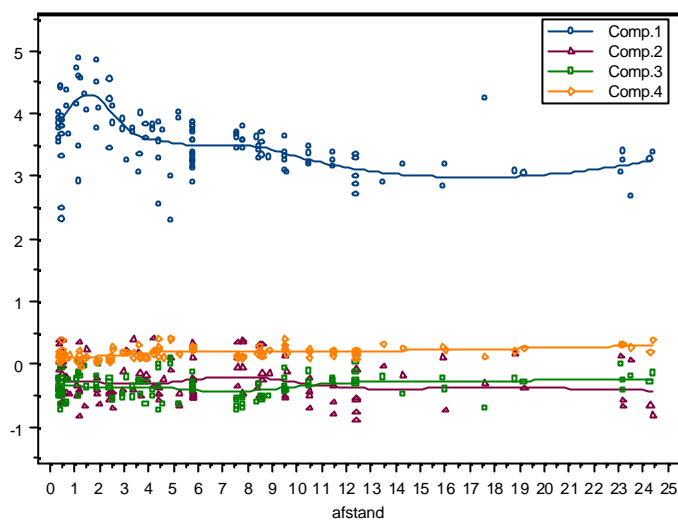
Figur 4.13 Lokal regression for de 4 principale komponenter med afstand som forklarende variabel  
*Local regression for the four principal components as a function of distance*



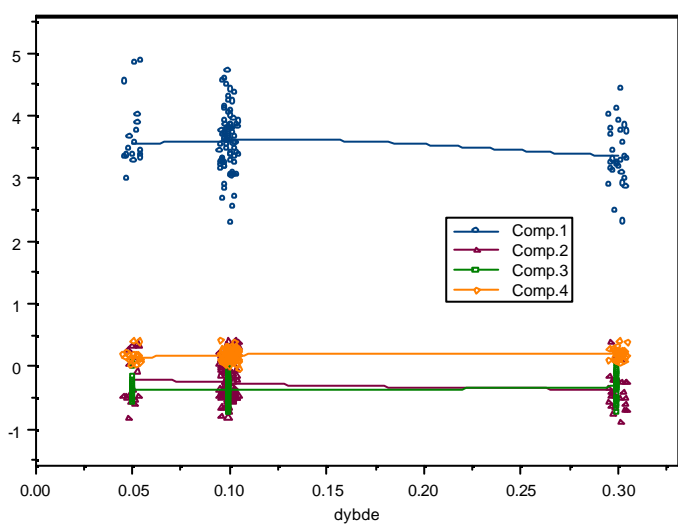
Figur 4.14 Lokal regression for BaP og PAH med afstand som forklarende variabel  
*Local regression for BaP and PAH as a function of distance*

Figur 4.13 og 4.14 viser lokal regression for jordprøver udtaget i 0 - 0,1 m's dybde og i en afstand af 0 - 100 m fra vejen. For komp. 1 ses faldende koncentrationer fra 0 - 15 m fra vejen.

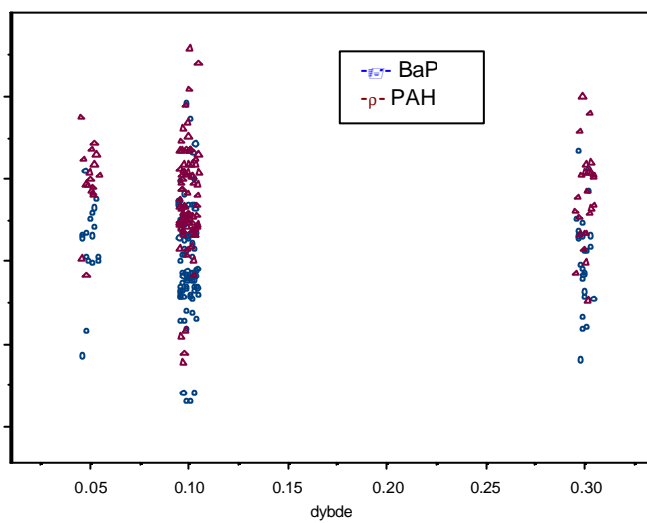
## Betydning af dybde ved små afstande



Figur 4.15 Lokal regression for de 4 principale komponenter med afstand som forklarende variabel  
*Local regression for the four principal components as a function of distance*



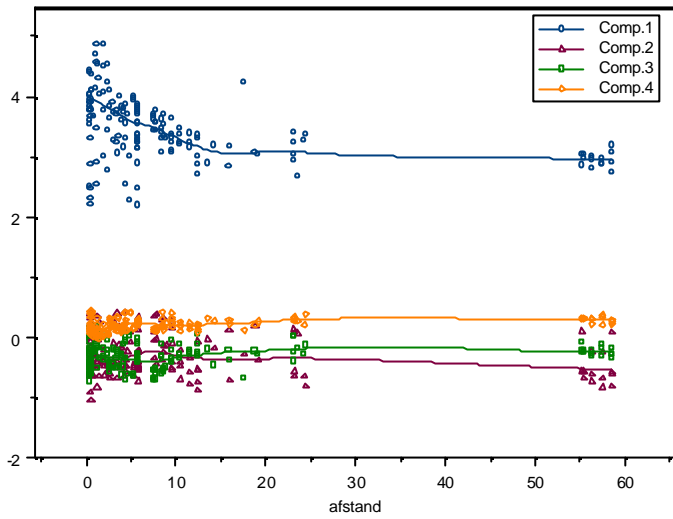
Figur 4.16 Lokal regression for de 4 principale komponenter med dybde som forklarende variabel  
*Local regression for the four principal components as a function of depth*



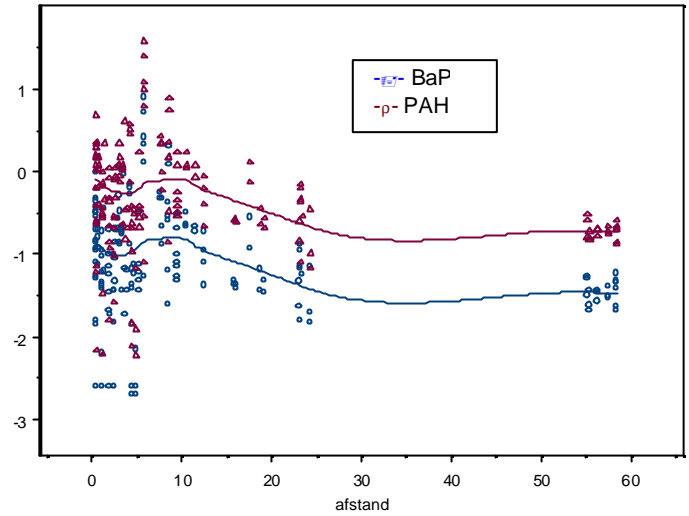
Figur 4.17 Lokal regression for BaP og PAH med dybde som forklarende variabel  
*Local regression for BaP and PAH as a function of depth*

Figur 4.15 -4.17 viser lokal regression for jordprøver udtaget i 0 - 0,3 m's dybder og i en afstand fra 0 - 30 m fra vejen. For komp. 1 ses faldende koncentrationer fra 0 - 15 m fra vejen, men ingen tendens i dybder fra 0-0,3 m.

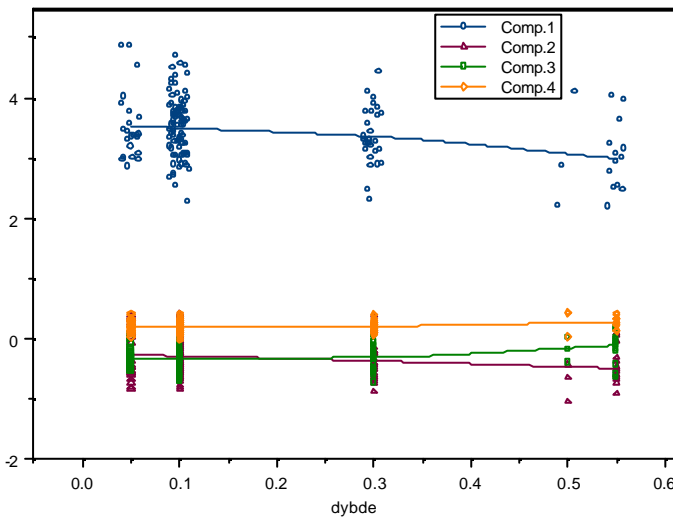
## Betydning af moderate dybder og afstande



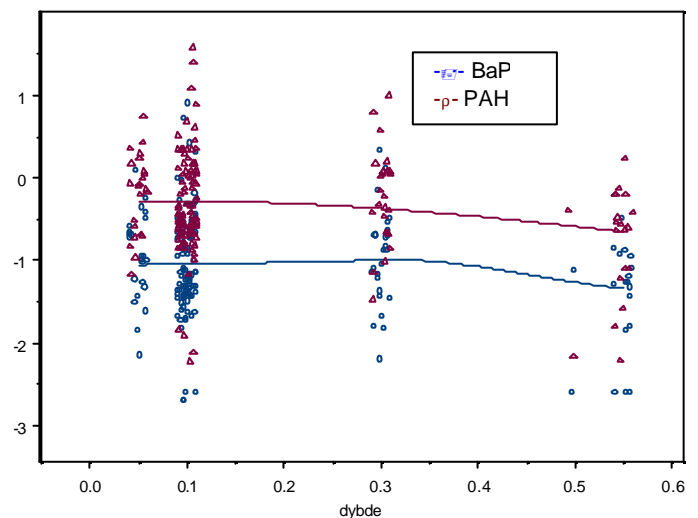
Figur 4.18 Lokal regression for de 4 principale komponenter med afstand som forklarende variabel  
*Local regression for the four principal components as a function of distance*



Figur 4.19 Lokal regression for BaP og PAH med afstand som forklarende variabel  
*Local regression for BaP and PAH as a function of distance*



Figur 4.20 Lokal regression for de 4 principale komponenter med dybde som forklarende variabel  
*Local regression for the four principal components as a function of depth*

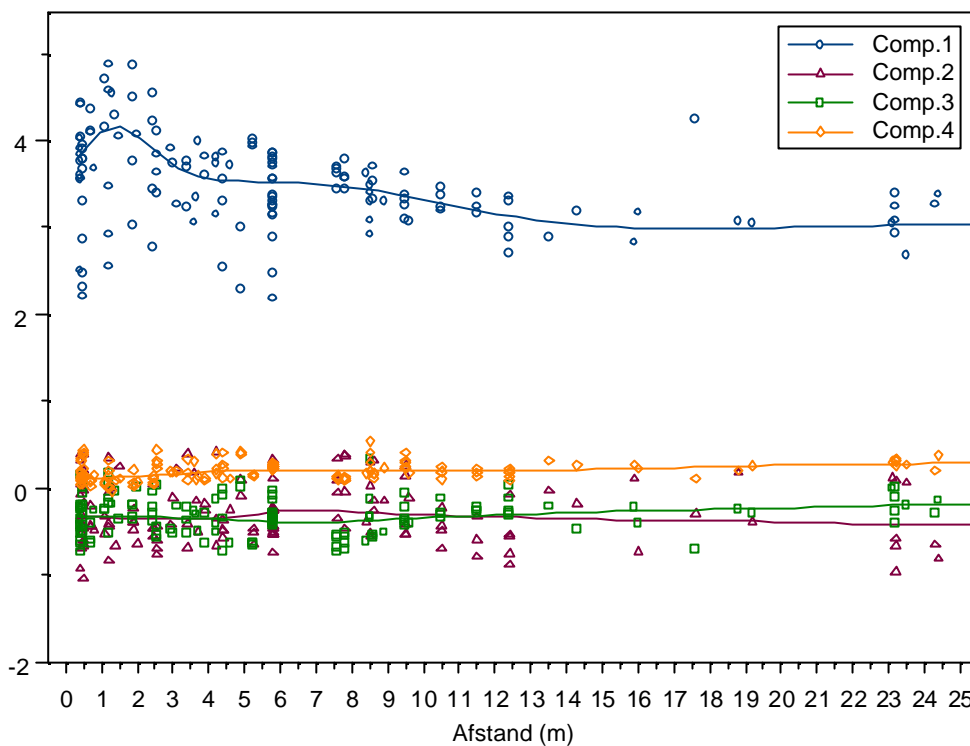


Figur 4.21 Lokal regression for BaP og PAH med dybde som forklarende variabel  
*Local regression for BaP and PAH as a function of depth*

Figur 4.18- 4.21 viser lokal regression for jordprøver udtaget i 0 - 0,55 m's dybde og i en afstand af 0 - 60 m fra vejen. For komp. 1 ses faldende koncentrationer fra 0 - 15 m fra vejen, men tvivlsom tendens i dybder fra 0 - 0,55 m.

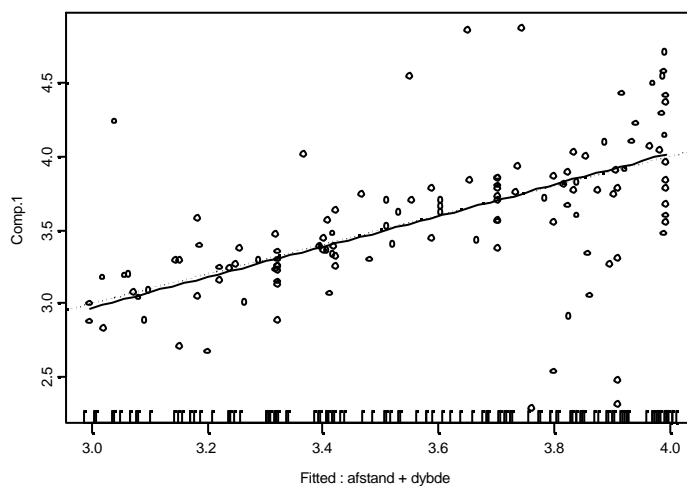
På grundlag af de fittede lokale regressioner vælges det, at foretage yderligere lokal regression med komp. 1 med afstande mindre end 30m og dybder mindre end 0,3 m som forklarende variable, jf. figur 4.22. Der foretages ikke

yderligere regressioner med benzo(a)pyren og PAH, idet begge variabler viser et fald i koncentrationen fra omkring 10 m afstanden fra vejen til omkring 30 m, hvor niveauet er konstant, jf. figur 4.14 og 4.19. Desuden ses, at koncentrationen efter et fald omkring 5 m igen stiger i en afstand på 10 m. Variationen er så stor, at den ikke umiddelbart kan ses afhængighed af dybden, jf. figur 4.17 og 4.21.

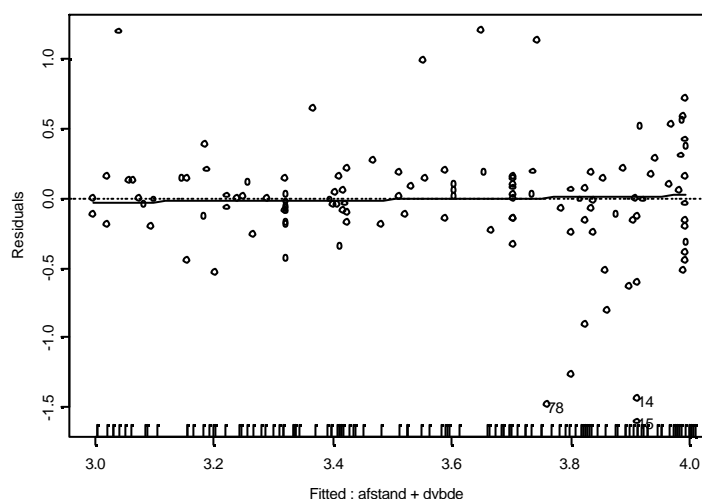


Figur 4.22 Lokal regression af de 4 principale komponenter med afstand som forklarende variable  
*Local regression for the four principal components as a function of distance*

Figur 4.23 viser den fittede lokale regressionsmodel plottet mod de beregnede værdier af komponent 1. Figur 4.24 viser residualplottet for modellen.



Figur 4.23 Fittet lokal regression af komp. 1 med afstand og dybde som forklarende variabler mod de beregnede værdier for komp. 1.  
*Fitted local regression for component 1 as a function of distance and depth plotted against the calculated values for comp. 1*



Figur 4.24 Residualplot for den fittede model  
*Residual plot for the fitted model*

#### 4.5 Konklusion

På basis af nærværende analyse kan konkluderes følgende:

- Benzo(a)pyren og PAH er i praksis 100% korrelerede ( $R^2=0.98$ )  
 $\text{Log}(\text{PAH})=0,716+0,978[\text{Log}(\text{benzo(a)pyren})]$
- Bly, kobber og zink er indbydes korrelerede
- Chrom og nikkel er ikke korrelerede med hinanden eller andre parametre
- Bly og BaP/PAH udviser tvivlsom korrelation
- BaP/PAH afhængighed af afstand og dybde kan ikke påvises, da der ses store variationer i værdier og skæv fordeling
- Bly, kobber og zink udviser "samme" koncentrationsafhængighed med hensyn til afstand og dybde.
- Chrom- og nikkelkoncentrationen afhænger hverken af afstand eller dybde.
- De to første principale komponenter for bly, chrom, kobber og zink beskriver 92% af variationen inden for de fire variabler. Den første komponent - komp. 1 (70%) omfatter de fire stoffer ligestillet, dog har chrom ikke så stor vægtning. Den anden komponent - komp. 2 (22%) omfatter hvordan chrom adskiller sig fra de øvrige parametre.
- For prøver udtaget i 0 - 0,3 m dybde ses for komp.1 et faldende koncentrationsniveau fra 0 - 15 m afstand fra vejkanten.

# 5 Erfaringer ved afprøvning af strategien

## 5.1 Forureningsmodel

Som udgangspunkt var det antaget, at den diffuse jordforurening i testarealet havde sin oprindelse i en liniemodel, dvs. emission fra trafikken.

Det er antaget, at forureningen kan bestå af bly og andre tungmetaller, PAH, olie, pesticider, dioxiner, samt evt. phthalater. Det er antaget, at forureningen aftager med afstanden fra vejen, og at det forureningspåvirkede areal strækker sig fra 0 til mindst 30 m fra vejrabatten. Ved større afstand antages forureningsniveauet alene at være bestemt af områdets øvrige diffuse kilder (kulturlag - bidragsmodel) /11/. Det antages, at jordforureningen aftager i dybden.

Generelt konkluderes det, at forureningsmønstret på testarealet er godt beskrevet ved liniemodellen i et nærområde på 0 – 15 m fra vejkanten, mens at arealer i større afstand af vejrabatten kan beskrives med bidragsmodellen.

Det er dog observeret, at der langs vejene findes stor spredning i koncentrationsniveauerne, og det antages, at jorden langs rabatten er blevet vilkårlig fjernet eller afhøvlet i forbindelse med vedligeholdelse og anlægsarbejder.

Generelt ses, at forureningen er størst i det øverste jordlag (bidrag ovenfra), men godt kan fortsætte til mindst 0,3 m's dybde.

En sammenligning af PAH-sammensætningen af jordprøverne fra testarealerne i kulturlag og omkring industri /11, 12/ og jordprøver, udtaget tæt på vejen, viser tegn på, at PAH-indikatorerne for emission fra trafikken er lidt forhøjede tæt på vejen.

## 5.2 Analyseparametre og analyseplan

Analyseparametrene blev udvalgt på baggrund af erfaringsopsamlingen i fase I /1/ hvor der var identificeret følgende potentielle forureningsparametre:

- Arsen (As)
- Bly (Pb)
- Cadmium (Cd)
- Chrom (Cr)
- Kobber (Cu)
- Nikkel (Ni)
- Zink (Zn)
- PAH (polycykliske aromatiske kulbrinter), herunder BaP (standardmetode for MST 7 PAH iht. JKK samt en udvidet pakke til vurdering af PAH-sammensætning)
- Totalkulbrinter, herunder olie (standardmetode inklusiv BTEX)

- Phthalater (analysepakke for 8 phthalater, herunder DEHP)
- PCB (polychlorede biphenyler) (analysepakke for 7 standard PCB'er; 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180)
- Pesticider (udvalgte persistente pesticider; Atrazin, DDT +DDE +DDD, Dichlobenil, Dieldrin, Lindan, Malathion, Parathion, Simazin)
- Dioxiner (standardpakke for 17 polychlorede dibenzofuraner og dibenzodioxiner)

#### **Tungmetaller, olie og PAH**

Generelt ses overskridelser af JKK for bly og BaP samt cadmium i jorden tæt på vejkant, og kun få overskridelser af ASK for BaP. Kobber og zink viser enkelte overskridelser og indholdet er forhøjet i forhold til i forhold til baggrundsværdierne i landområder. Metaller: bly, kobber og zink er ofte i en vis grad korrelerede.

Ca. 50% af prøverne udtaget i det øverste jordlag fra 0 - 0,1 m's dybde inden for 10 m afstand fra vejen, viser overskridelse af JKK for kulbrinter på op til 700 mg/kg TS.

Sum af MST 7 PAH er en vigtig parameter, idet især benzo(a)pyren er en hyppig og særlig kritisk forureningsparameter. Ved at måle på alle 7 PAH kan det desuden kontrolleres, at der er overensstemmelse mellem koncentrationsniveauerne for BAP og DiBahA (dibenz(ah)anthracen), idet de enkelte PAH er direkte korreleret.

Analyse af flere PAH er foretaget med henblik på en vurdering af PAH-sammensætningen har indikeret interessante forhold, jf. afsnit 3.4. Disse forhold er imidlertid ofte slørede, hvilket antagelig skyldes, at der er bidrag fra mange kilder. Vurderingen af PAH-sammensætningen er især interessant i forbindelse med kildekarakterisering, men bidrager ikke væsentligt til kortlægningen af diffus jordforurening.

#### **PCB**

Generelt er der ikke påvist indhold af polychlorede biphenyler (PCB) i jordprøver udtaget langs veje (intet påvist i 85% af prøverne).

#### **Phthalater**

Der er målt lave indhold af phthalater i alle prøver og ingen overskridelser af JKK. Der er tilsyneladende lidt højere indhold i prøverne udtaget tæt på vejen.

#### **Dioxin**

Der er fundet lave indhold af dioxiner i alle jordprøver (2 - 8 ng internationale toksicitetsækvivalenter (ITE)/kg TS). Der er ikke opstillet et dansk JKK for dioxin, hvorfor den sundhedsmæssige betydning ikke kan umiddelbart vurderes. Til orientering kan det nævnes, at baggrundsniveauet i landbrugs- og byområder i Tyskland er henholdsvis 1 - 5 ng ITE/kg TS og 10 - 30 ng ITE/kg TS /18,25/.

#### **Pesticider**

Pesticidindholdet (kun pesticider med lange nedbrydningstider) er analyseret i 9 jordprøver, men der er fundet kun lave indhold af DDT i 3 af de 9 prøver (0,005 - 0,018 mg/kg TS). JKK på 0,5 mg/kg TS er ikke overskredet.



### Konklusion vedrørende standardanalyseparametre

De mest dominerende forureningskomponenter ved diffus jordforurening langs trafikerede veje er bly og benzo(a)pyren (BaP). Supplerende analyser for andre tungmetaller (cadmium, kobber, zink) og sum af PAH vil dog medvirke til en bedre beskrivelse af forureningsfordelingen og identificering af eventuelle påvirkninger fra andre forureningskilder.

### 5.3 Måleteknikker

Måleteknikkerne blev udvalgt til at bestemme de ovennævnte forureningsparametre med en detektionsgrænse svarende til mindst en 1/10 del af JKK, eller hvis der ikke findes JKK (PCB, dioxiner og visse pesticider) til 1/10 af det forventede baggrundsniveau i uforurenede områder. Måleteknikker og detektionsgrænser er præsenteret i afsnit 2.7.

Et af delformålene ved de tekniske undersøgelser har været at få afprøvet feltteknikkerne med henblik på en optimering af analyseomkostningerne ved kortlægning af diffust forurenede jord, dvs. screening. I fase I blev der foretaget en evaluering af to feltteknikker; EDXRF for tungmetaller og immunoassay for PCB og PAH. EDXRF har en rimelig analysekvalitet og er forholdsvis billig, mens immunoassay er kun niveauangivende og er relativt dyr /2/. EDXRF er derfor valgt som feltteknik ved nærværende undersøgelse.

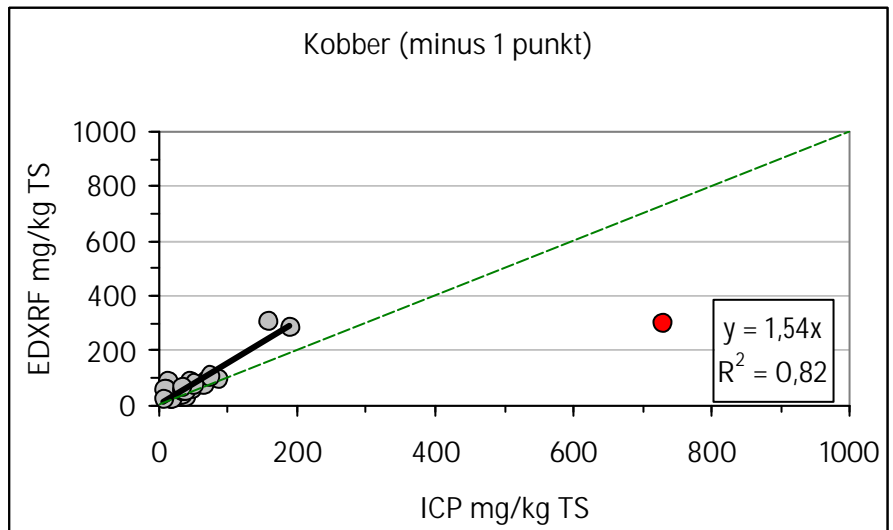
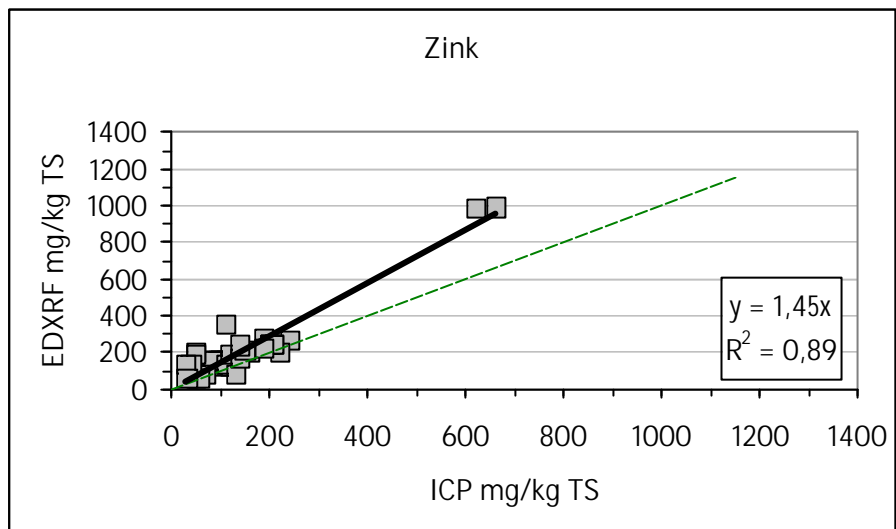
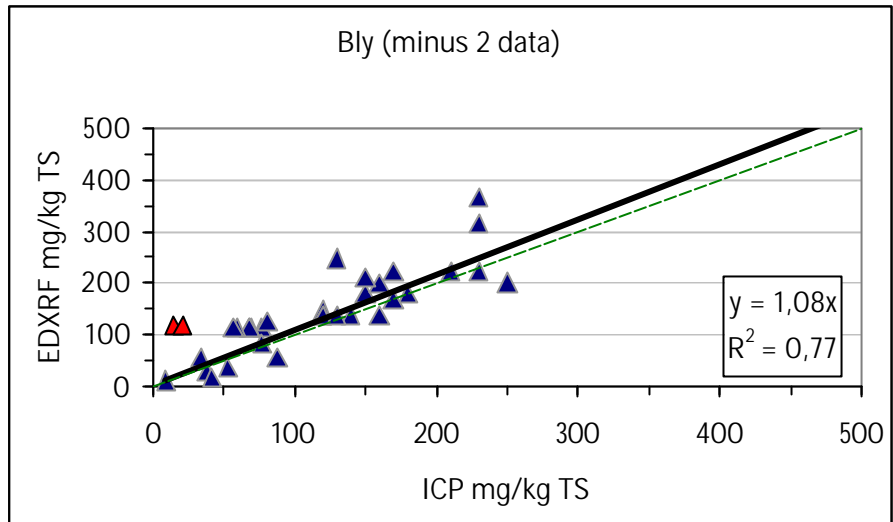
EDXRF har i denne sammenhæng følgende ulemper:

- Høje detektionsgrænser
- Lave cadmiumniveauer f.eks. omkring JKK og ASK kan ikke måles

Desuden er der ved en feltanalyse yderligere en usikkerhed i forhold til laboratorieanalyser vedrørende sammenlignelighed med de akkrediterede laboratoriemetoder, dvs. genfinding - findes samme mængde som i referencejord eller ved en akkrediteret analyse? Ligeledes er analyseusikkerhed (reperterbarhed og spredning mellem måleserier - fås det samme resultat ved gentagne analyser?) ofte større for feltmålemetoder.

Detektionsgrænserne ved EDXRF er væsentligt højere end ved ICP-teknikken, jf. tabel 2.4 og koncentrationsniveauerne for As, Cr og Ni i byjord er typisk omkring detektionsgrænsen for EDXRF-teknikken og på samme niveau som baggrundsniveauet i landområder. Det betyder, at EDXRF ikke kan bestemme koncentrationsniveauerne for As, Cr og Ni i byjord, som dog er sjældent forhøjede og aldrig over JKK. Der kan heller ikke måles for cadmium med EDXRF, idet detektionsgrænsen er på samme niveau som for de andre metaller, dvs. over afskæringskriteriet for cadmium (5 mg/kg TS).

I datarapport for kulturlag /11/ er der udført en sammenligning af alle data målt ved henholdsvis ICP og EDXRF, og der ses både højere og lavere værdier ved ICP i forhold til EDXRF (dvs. ingen entydig bias). Ved en nøjere analyse af dataene ses dog alligevel en generel tendens til lidt højere indhold ved målinger med EDXRF (systematiske fejl, bias) end ICP, især for de forurenede prøver. Dette illustreres i figur 5.1, som viser korrelationen mellem EDXRF- og ICP-målinger fra Hareskovvej og Frederikssundsvej og som viser samme tendenser som ved målinger fra testarealer for kulturlag og omkring industri /11, 12/.



--- 1:1 korrelation

Figur 5.1 Sammenligning af EDXRF og ICP målinger fra Hareskovvej og Frederikssundsvej  
*Comparison of measurements by EDXRF and ICP from Hareskov road and Frederikssund road*

Da der ved EDXRF kun måles i et lille "vindue" på overfladen af jordprøven, mens der ved ICP udføres ekstraktion på 2 g jord, kan en forskel mellem de to typer målinger eventuelt forklares ved, at der på overfladen af jordpartiklerne ligger en "påført" forurening med tungmetaller.

Dette betyder ikke, at EDXRF-teknikken er udelukket ved undersøgelse af diffus jordforurening, men at teknikken har en række ulemper i forhold til laboratorieanalyser som f.eks. ICP. I stedet for feltteknikken med røntgenfluorescens (EDXRF) anbefales det derfor i /11/ at anvende laboratorieanalyser såsom ICP eller AAS. Anvendelse af ICP eller AAS vil medføre lavere detektionsgrænser og sikre sammenligneligheden med andre undersøgelser (undgå bias). Desuden kan der tilsyneladende også opnås en lavere analyseusikkerhed, idet det vurderes, at EDXRF er meget følsom over for mikroheterogenitet i jordmediet.

#### 5.4 Design af forsøgsplan

Forsøgsplanen for undersøgelse af diffus jordforurening og trafik har været baseret på tilfældige prøvetagningsfelter af 2 x 2 m (4 m<sup>2</sup>) placeret i forskellige afstandsintervaller – zoner, jf. afsnit 2.8. Prøvetagningspunkterne er ikke forsøgt etableret som en række tværsnit til vejtracen, selv om tværsnit forekommer, jf. 3.1 og 3.2.

Det er antaget, at forureningsniveauet inden for et afstandsinterval - f.eks. zone A (0-2 m fra vejen) - er sammenligneligt (ens). Det vil sige, at indholdet i jordprøver fra samme dybder i hver zone bør ligge inden for et relativt smalt konfidensinterval. Imidlertid har afprøvning vist at spredning indenfor en zone har været stor, mens spredningen i de enkelte prøvetagningsfelter af 4 m<sup>2</sup> har været væsentlig mindre. Det antages derfor, at jorden langs rabatten er blevet vilkårlig fjernet eller afhøvlet i forbindelse med vedligeholdelse og anlægsarbejder.

For at sikre, at forureningsforholdene kan evalueres i forhold til positionen langs vejen, anbefales det, at den fremtidige strategi omfatter prøvetagning langs et tværsnit 0 – 20 m fra vejkant.



## 6 Hypoteser

Der er opstillet følgende hypoteser om relationerne mellem den diffuse jordforurening og den bymæssige anvendelse.

Hypoteser	Konklusion
Hypoteser om undersøgelsesstrategien:	
1. Undersøgelsesstrategien (en statistisk sammenligning af prøvetagningsfelter samt en visualisering af forureningsniveauerne over arealet) er en effektiv metode til at sikre et datagrundlag for kortlægning på vidensniveau 2, dvs. en statistisk dokumentation for, at jordkvalitetskriterierne i topjord fra delområder er overskredet.	Delvis. Strategien har vist at der findes stor variation i forureningsniveauerne langs vejstrækninger.
2. Anvendelsen af feltteknikker forbedrer datagrundlaget for kortlægning på vidensniveau 2.	Muligvis. Da feltmålinger introducerer ekstra variationer i forhold til laboratorieanalyser, må der kompenseres ved, at der måles på væsentlig flere prøver, og dermed er der næppe økonomisk fordel.  Feltteknikkernes fordele hvad angår hurtighed og fleksibilitet er muligvis relevante ved undersøgelse af diffus jord langs vej i forbindelse med screening af niveauerne.
3. Dataindsamling baseret på den anvendte prøvetagningsplan giver et tilstrækkeligt grundlag for kortlægning på vidensniveau 2.	Ja. Det gennemsnitlige indhold af bly og BaP i den øverste jordlag inden for 0 - 15 m fra en ældre vej vil i de fleste tilfælde overskride JKK.
4. Dataindsamling baseret på den anvendte analyseplan (parametervalg og analysemetode) giver et tilstrækkeligt grundlag for kortlægning på vidensniveau 2.	Ja. De anvendte analyseparametre og laboratorieteknikker har været mere end tilstrækkelige.
Hypoteser om forureningsmodellen:	
5. Diffus jordforurening kan beskrives ved en liniemodell, idet der er en sammenhæng mellem afstanden fra forureningskilden og indholdet af forureningskomponenter i topjorden (2-10 cm). Indholdet aftager med afstanden fra liniekilden, indtil en afstand, hvor forurenings-	Ja

Hypoteser	Konklusion
niveauet alene afhænger af de øvrige diffuse kilder i området.	
6. Forureningsniveauet aftager med dybden i jordlaget.	Ja. I den forurenede zone i 0 - 15 m's afstanden fra vejkanterne findes forurening til 0 - 0,3 m's dybde som aftager i større dybder herunder.
7. Indholdet af forureningskomponenter i jordlag fra 0 - 5 cm (inkl. græs-tørv) i uberørt jord (jord, hvor der ikke graves, f.eks. græsarealer og ikke-dyrket jord) er højere end i det dybereliggende jordlag 2 - 10 cm.	Nej. Niveauet er nogenlunde det samme i begge dybder.
8. Diffus jordforurening ved større afstand fra vejen kan beskrives ved en bidragsmodel, idet der i fyldlaget er et varierende og tilfældigt indhold af forureningskomponenter, såsom PAH og tungmetaller, dvs. der er ingen tendens til højere indhold i bestemte retninger.	Ja
9. Diffus jordforurening ved større afstand fra vejen kan beskrives ved en bidragsmodel, idet der i fyldlaget er et højere indhold af forureningskomponenter, såsom PAH og tungmetaller, i forhold til referenceværdier for intakt jord.	Ja
Hypotese om arealspecifikke analyseparametre:	
10. Foruden tungmetaller og PAH, findes olie (totalkulbrinter), dioxiner, PCB, phthalater og pesticider.	Ja, men kun ved lavt niveau under danske eller udenlandske JKK.
11. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af BaP, DiBaH og summen af MST 7 PAH.	Ja
12. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af bly og zink.	Ja R = 0,81 (alle data)
13. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af cadmium og zink.	Ja R = 0,85 (alle data)
14. Der er en sammenhæng mellem koncentrationerne af bly og BaP.	Nej, der er ingen sammenhæng R = 0,04 (alle data)
15. De kritiske forureningsparametre er identiske med indikatorparametre fra andre undersøgelser, nemlig BaP og bly.	Ja (Men andre parametre er nyttige for at kunne karakterisere forureningen og korrelere forureningsforholdene over testarealet).

## 7 Ordforklaring

As	Arsen
AVJ	<b>A</b> mternes <b>V</b> idencenter for <b>J</b> ordforurening
BaP	<b>B</b> enzo( <b>a</b> ) <b>P</b> iren
BTEX	Samlet betegnelse for <b>B</b> enzen, <b>T</b> oluen, <b>E</b> thylbenzen og <b>X</b> ylener
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kobber
DDT	<b>D</b> ichlor <b>D</b> iphenyl <b>T</b> richlorethan Chlorholdige pesticid
DEHP	<b>D</b> i(2- <b>e</b> thyl- <b>h</b> exyl) <b>p</b> hthalat
Deposition	Engelsk ord for nedfald
DiBahA	<b>D</b> ibenz( <b>a,h</b> ) <b>A</b> nthracen, se PAH
Diffus jordforurening	Diffus jordforurening er oprindeligt forårsaget af hændelser, der er relateret til en eller flere punktkilder, men hvor der er sket en spredning, opblanding eller fortynding, således at forholdet mellem kildestyrken og jordforureningen er blevet sløret
Diffus kilde	Diffuse forureningskilder er typisk industriafkast eller trafik, som medfører luftbåren forurening
Dioxiner	Dioxiner er en samletbetegnelse for de 75 forskellige <b>P</b> oly <b>C</b> hlorede <b>D</b> ibenzo- <b>p</b> - <b>D</b> ioxiner (PCDD) og de 135 forskellige <b>P</b> oly <b>C</b> hlorede <b>D</b> ibenzo <b>F</b> uraner (PCDF).
EDXRF	<b>E</b> nergi <b>D</b> ispersiv ( <b>X</b> ray) <b>R</b> øntgen <b>F</b> luorescens: analysemetode for metaller
Forureningsmodel	Ofte kaldt en konceptuelle model fra den engelske betegnelse "conceptual pollution model". En beskrivelse af forurenings kilde, spredning/transport og fordeling i miljøet.
GC	<b>G</b> as <b>C</b> hromatografi: analysemetode for organiske

	forbindelser
GC-FID	<b>GasChromatografi med Flamme Ionisations Detektor.</b>
GC-MS-SIM	<b>GasChromatografi med MasseSpektrometri med Selektiv Ion Monitoring</b>
Geostatistik	Geostatistik er anvendelse af statistik til at evaluere den rumlige fordeling af geokemiske data.
gns.	Gennemsnit
Hydrocarbon	Kulbrinte
ICP	<b>I</b> nduktivt ( <b>C</b> oupled) <b>P</b> lasma: analysemetode for metaller
Konceptuel model	Fra den engelske betegnelse "conceptual site model - CSM". En beskrivelse af forurenings kilde, spredning/transport og fordeling i miljøet for den aktuelle lokalitet.
Kurtosis	Længden (størrelsen) af halen, hvor en normalfordeling har en værdi på 0. Se afsnit 2.11
Kulbrinte	Et stof bestående af kulstof og brint
Nedfald	Ofte betegnet deposition
Ni	Nikkel
Outliers	Afvigende målinger
P	Sandsynligheden (p) har en værdi mellem 0 og 1. Se afsnit 2.11
PAH	Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner omfatter et antal af kulbrinter (forbindelser som alene indeholder kulstof og brint), der består af to eller flere aromatiske ringe. PAH kan være usubstituerede eller alkylsubstituerede.
Pb	Bly
PCB	<b>P</b> oly <b>C</b> hlor <b>B</b> iphenyler
Persistente	ikke nedbrydelig
Phthalater	Phthalater er anvendt som plastblødgørere.
Q-Q plot	Data er plottet i forhold til fraktilerne i en normalfordeling. Dette svarer til at plote data på normalfordelingspapir. Se afsnit 2.11
R	Range ved den geostatistiske analyse. Se afsnit 2.12



<b>R</b>	R er statistiske og grafiske værktøjer udviklet ved Bell Laboratories som "open source" og kan gratis downloades fra internettet, <a href="http://www.r-project.org/">http://www.r-project.org/</a>
<b>R</b>	Pearson's korrelationskoefficient indikerer, om der er et lineart forhold mellem to parametre, hvor en positiv værdi på 1 betyder et perfekt positivt lineart forhold (begge parametre vokser) og en negativ værdi på -1 betyder et perfekt negativt lineart forhold (en parametre aftager, mens den anden vokser). En værdi tæt på 0 betyder, at der ingen korrelation er mellem parametre. Se afsnit 2.11
<b>R<sup>2</sup></b>	R <sup>2</sup> , forklaringsgrad, Kvadrat af Pearson's korrelationskoefficient som angives ved regressionanalyse og ved x-y plots. Se afsnit 2.11
<b>Shapiro Wilks (W)</b>	Shapiro-Wilks test (W): Test til at vurdere om data er normalfordelte. Se afsnit 2.11
<b>Skewness</b>	Afvigelse fra symmetri omkring gennemsnit, hvor en normalfordeling har en værdi på 0. Positive værdier indikerer en lang hale til højre og negative værdier indikerer en lang hale til venstre.
<b>t-test</b>	Anvendes til at undersøge, om to stikprøvers middelværdi er ens. Se afsnit 2.11
<b>ITE</b>	Internationale toksicitetsækvivalenter for en specifik dioxin, f.eks. TEQ ift. 2,3,7,8-TCDD-ækvivalenter, Sevesodioxin, 2,3,7,8-tetrachlor-dibenzo-p-dioxin)
<b>UK</b>	<b>United Kingdom</b>
<b>USA-EPA</b>	<b>United States Environmental Protection Agency</b>
<b>Vidensniveau 2</b>	Defineret i Jordforureningslov ifm kortlægning, hvor der tilvejebragt et dokumentationsgrundlag, der gør, at det med høj grad af sikkerhed kan lægges til grund, at der på et areal er en jordforurening af en sådan art og koncentration, at forurening kan have skadelig virkning på mennesker og miljø.
<b>Wilcoxon Rank Sum Test</b>	En non-parametrisk test til at sammenligne data. Anvendes hvis data ikke er normalfordelte. Se afsnit 2.11.
<b>Zn</b>	Zink
<b>AAS</b>	<b>Atom Absorption Spektrometri</b> , analysemetode for metaller



## 8 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen. 2002. Miljøprojekt 663. Fase I. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 1: Erfaringsopsamling og afklaring af kilder til diffus jordforurening. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /2/ Miljøstyrelsen. 2002. Miljørapport 664. Fase I. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 2: Afprøvning af feltmetoder ved undersøgelse af diffust forurenede jord. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /3/ Miljøstyrelsen. 2002. Miljørapport 665. Fase I. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 3: Indledende forslag til undersøgelsesstrategier for kortlægning af diffust forurenede arealer i byområder. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /4/ Københavns Kommune. Miljøkontrollen. 1998. Eriksen, J.M. Arealanvendelse. Historiske kortlægning af arealanvendelse i København.
- /5/ Københavns kommunes Miljøoplysninger på grunde. Besøgt d. 21-08-2002. [www.kbhbase.kk.dk](http://www.kbhbase.kk.dk)
- /6/ Københavns Kommune. Miljøkontrollen. 1996. Eriksen, J.M. Lossepladser og opfyldning i København.. Historiske redegørelse for Københavns opfyldninger og lossepladser fra omkring århundredeskiftet til 1995.
- /7/ Københavns Kommune. 2002. Miljøkontrollen. Personlig kommunikation John M. Eriksen.
- /8/ DMI. Laursen, E.V.; Thompsen, R. S. and Cappelen, J.1999. Observed air temperature, humidity, pressure, cloud cover and weather in Denmark- with Climatological standard Normals, 1961-1990. Technical report 99-5.
- /9/ DMI. Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H. and Jensen, J.J. 1997. Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. Technical report 97-8.
- /10/ DMI. Cappelen, J. and Jørgensen, B. 1999. Observed Wind speed and direction in Denmark – Climatological Standard Normals, 1961-90. Technical report 99-13.
- /11/ Miljøstyrelsen. 2003. Miljøprojekt. Fase II. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 2: Diffus jordforurening og kulturlag. Miljøkontrollen. NIRAS.

- /12/ Miljøstyrelsen. 2003. Miljørapport. Fase II. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 4: Diffus jordforurening og industri. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /13/ Miljøstyrelsen. 2003. Miljørapport. Fase II. Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 1. Strategier for kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Miljøkontrollen. NIRAS.
- /14/ Jensen, J., Bak, J., og Larsen, M.M. (1996). Tungmetaller i danske jorder. Miljø- og Energiministeriet. Danmarks Miljøundersøgelser.
- /15/ Miljø- og Energiministeriet. Danmarks Miljøundersøgelser. (1996) Monitorering af tungmetaller i danske dyrkningsjorder. Prøvetagningen i 1992/93. Faglig rapport fra DMU, nr. 157, 1996.
- /16/ Miljøministeriet. DMU.2002 Dioxin måleprogram. Statusrapport april 2002.
- /17/ Miljøministeriet. DMU.2002. Vinkelsøe, J.; Thomsen, M.; Carlsen, L. & Johansen, E. Persistent organic pollutants in Soil, Sludge and Sediment. NERI Technical Report no. 402.
- /18/ Fiedler, H. Dioxin case study from Germany. Proceedings of the subregional awareness raising workshop on persistent organic pollutants (POPS) Puerto Iguazú. 1-3 april 1998.  
[http://irptc.unep.ch/pops/POPs\\_Inc/proceedings/coverpgs/procedures.htm](http://irptc.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/coverpgs/procedures.htm).
- /19/ Fiedler, H. Polychlorinated biphenyls(PCB): Safe management of PCBs and case studies. Proceedings of the subregional awareness raising workshop on persistent organic pollutants (POPS) Bangkok, Thailand 25-28 November 1997.  
[http://irptc.unep.ch/pops/POPs\\_Inc/proceedings/coverpgs/procedures.htm](http://irptc.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/coverpgs/procedures.htm).
- /20/ Undersøgelse av polyklorete bipfenyler(PCB) i jorden i skolegården ved Skold skole. NGU rapport 99.049  
<http://www.ngu.no/prosjekter/Jordforurensning/Bergen/Norsk/Rapporter/PCB-rapport.htm>.
- /21/ Miljøstyrelsen. 2002. Miljøprojekt nr. 728. Kilder til jordforurening med tjære, herunder benzo(a)pyren i Danmark. NIRAS. DHI.
- /22/ [www.trimble.dk/ services /almanakken](http://www.trimble.dk/services/almanakken).
- /23/ United States Environmental Protection Agency. 2000. Guidance for Data Quality Assessment. Practical Methods for Data analysis. EPA QA/G-9 QA00 Update EPA/600/R-96/084.
- /24/ Miljøstyrelsen. 2003. Liste over Kvalitetskriterier i relation til forurennet jord. Juli 2003. [www.mst.dk /affald, jord og rotter/jord](http://www.mst.dk/affald,jord%20og%20rotter/jord).

- /25/ Hansen, E. 2002. Dioxin som muligt jordforureningsproblem i Danmark. side 41-50. ATV-møde om diffus jordforurening, d. 4. juni 2002.
- /26/ Visser, W.J.F. 1994. Contaminated land Policies in some industrialized countries. TCB R02 1993.