

# Dynamiske poreluftundersøgelser - fra screening til optimal vidensudnyttelse

**Per Loll, udviklingsleder, Ph.D**

**Andreas H. Kristensen, Ph.D.**

**Claus Larsen, civilingeniør**

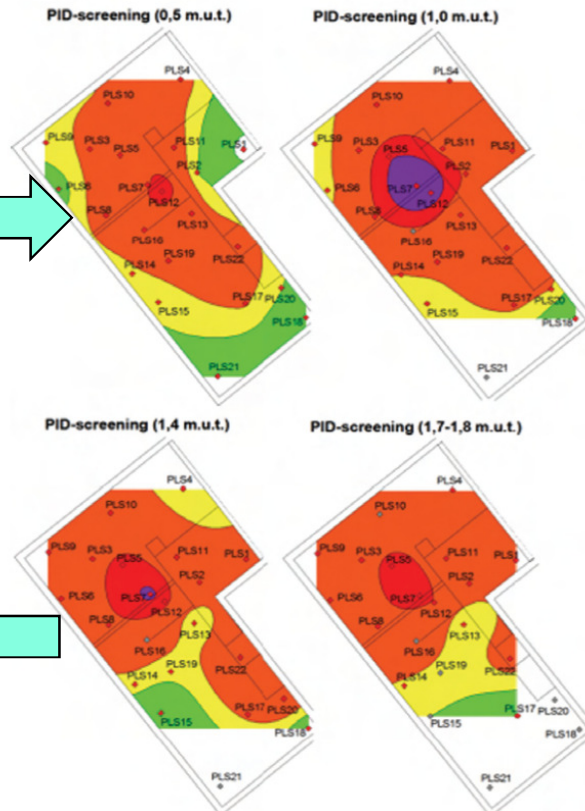
**Annette Dohm, geolog, Region Nordjylland**

**ATV Vintermøde, Vingsted 5. marts 2013**

Jerslev J	Ry	Karup	Kolding	Slagelse	Hvidovre	Nyborg
70 22 06 55	86 95 06 55	97 43 06 55	76 32 65 00	58 52 24 11	48 22 24 00	40 76 06 61



- Foråret 2009: DMR udførte en undersøgelse for Region Nord med PID-måler til kortlægning af poreluftforurening (PCE) under gulv.
- Formål at placere håndboringer til karakterisering/afgrænsning af jordforurening under gulv (mhp. afværg).



## Vi opnåede:

- Høj datatæthed (plan og dybder).
- Hurtig feltkampagne (torsdag-søndag).
- Minimal forstyrrelse af igangværende erhverv.

⇒ Dvs. effektiv og dynamisk kortlægning af jordforurening under gulv.

hot-spot

Lokalisering af hot-spot under bygning på renserigrund

(jordforurening.info nr. 1, 2010)

- Afprøve ”poreluftscreening” på 5 forskellige lokaliteter:
  - Anvende ppbRAE eller PID-måler afh. af koncentrationsniveauer.
  - Screene poreluften direkte under gulv og i forskellige dybder.
  - Forskellige forureningstyper; hhv. chlorerede og kulbrinter.
  - Dokumentere ”metodens” styrker og svagheder.
- Dertil blev følgende fremadrettede perspektiver inkluderet:
  - Hvordan udvælges prøvetagningspunkter til akkrediteret analyse?
  - Hvor mange prøver skal der til for ”mest værdi for pengene”?

- Projektet tog sin begyndelse i ”en anden tid”:
  - Kun indledende erfaringer med brug af ppbRAE til poreluftscreening (ERFA-gruppe i Region Midt).
  - Analysepriserne var betydeligt højere end i dag (x 2-3).
  - TRIAD var endnu ikke ”opfundet” (ikke kommet til DK).
  - Resultaterne af ”Variationer i poreluftens forureningsindhold” forelå ikke (TUP ERFA-projekt i Region Syd).
- I mellemtiden er der sket meget:
  - Poreluftscreening er blevet almindelig og der foreligger ret mange erfaringer.
  - Analyserne er blevet meget billigere.
  - Dynamiske undersøgelsesforløb er blevet ”almindelige”.
- Derfor har vi givet projektet et ordentligt twist ...
  - Og rapportens/præsentationens hovedfokus ligger på optimal vidensudnyttelse; *ikke* det dynamiske koncept til poreluftscreening.



- 5 poreluftundersøgelser i Region Nord og Hovedstaden:
  - Alm. videregående undersøgelser på forskellige undersøgelsesstadier.
  - Forurening/kilder under bygninger og/eller fast belægning.
  - 3 lokaliteter med chlorerede opløsningsmidler & 2 kulbrintesager.
  - Forskellige undersøgelsesformål (karakterisering, afgrænsning, screening/lokalisering).
  - Økonomiske bindinger ift. antallet af prøvetagningspunkter.

Sagsnavn	Undersøgt aktivitet	Primær forurening	Forureningskilde	Undersøgelsesformål
Halsvej	Renseri (1973-1993)	PCE	Spild ved rensema- skine og kloak	Karakterisering og af- grænsning
Gammel Østergade	Renseri (1939-1980'erne)	PCE	Ukendt	Karakterisering og af- grænsning
Kajerødvej	Vaskeri/renseri (1964-1977)	PCE	Ukendt	Screening, karakterisering og afgrænsning
Møllevej	Vognmandsforretning og - metalværksted (1965-1998)	TVOC	Ukendt	Screening, karakterisering og afgrænsning
Houvej	Produktion af vinduer og døre (1975-nu)	TVOC	Spildbakke under imprægneringsmaskine	Karakterisering og af- grænsning

A. Et poreluftpunkt etableres og opstillingen renpumpes (2-5 L).

B. Poreluftscreening:

- Ca. 2,5 L poreluft udtages i vakuumkasse/Rilsanpose.
- Måling med ppbRAE -> svar nu.
- Uspecifik – relativ koncentration.



C. Poreluftprøvetagning:

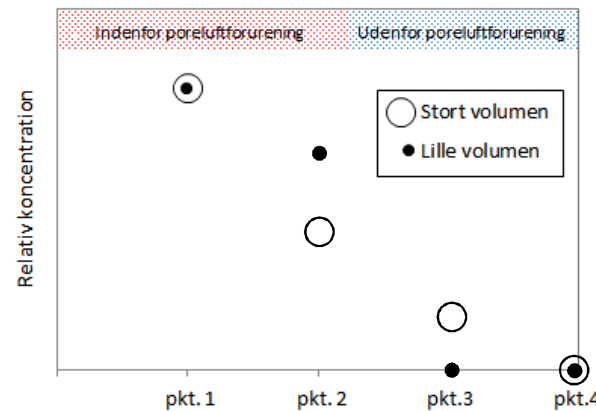
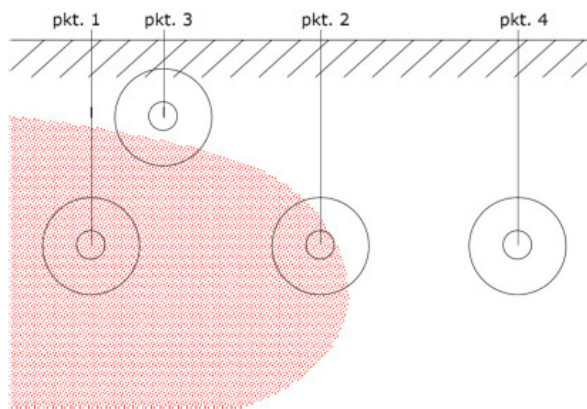
- Ca. 100 L poreluft udtages på kulrør.
- Akkrediteret analyse -> ventetid.
- Stofspecifik - absolut koncentration.



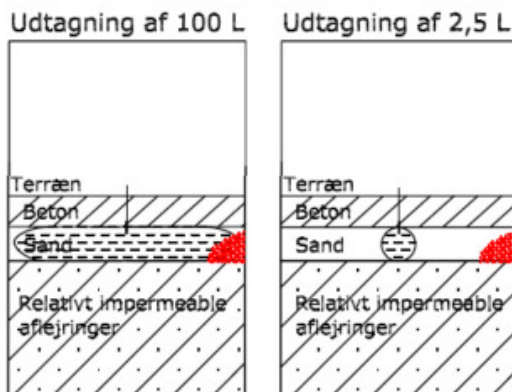
- Vi forventer en vis sammenhæng imellem de to resultater, så målingerne med ppbRAE kan bruges som pejlemærker for poreluftforureningen.
- Tænk analogi til PID-måling på jordprøver.

# Lidt om prøvolumener

- En prøve på 2,5 L stammer fra et jordvolumen på 8-25 L, mens en prøve på 100 L stammer fra et jordvolumen på 330-1.000 L.
- I homogen jord, svarer det til prøvediametre på 30 og 100 cm.
- Hvis vi forestiller os fire forskellige prøvetagningspunkter:



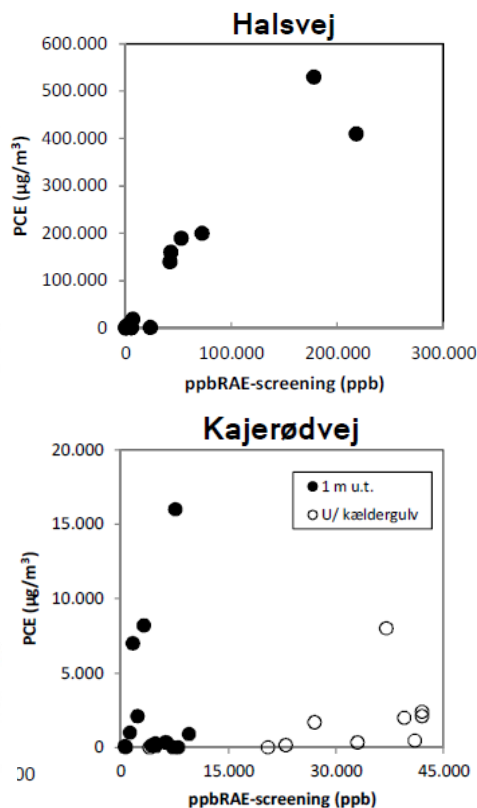
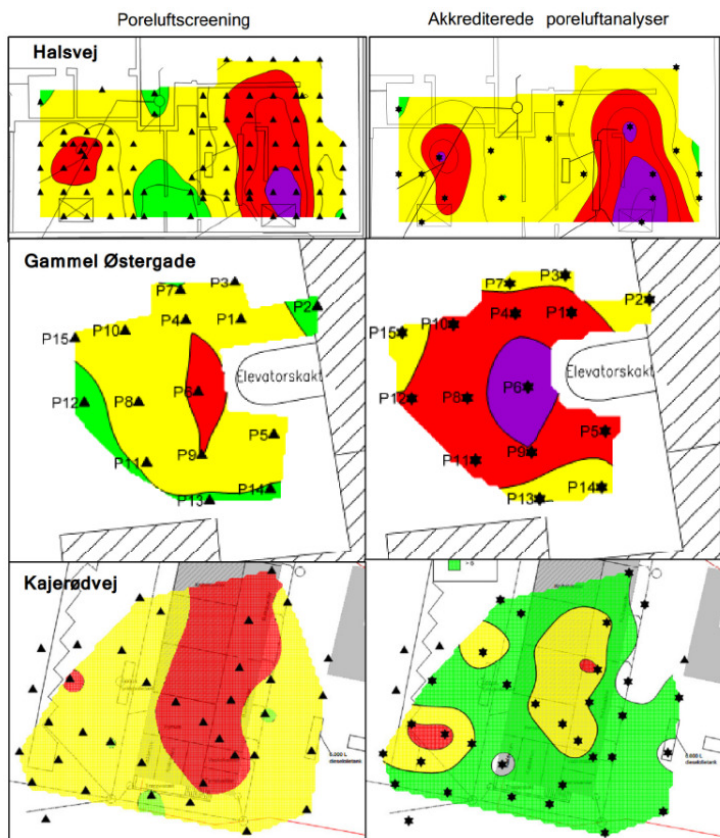
*Lille volumen bedst til karakterisering/afgrænsning.  
Stort volumen bedst til screening efter ukendt forurening.*



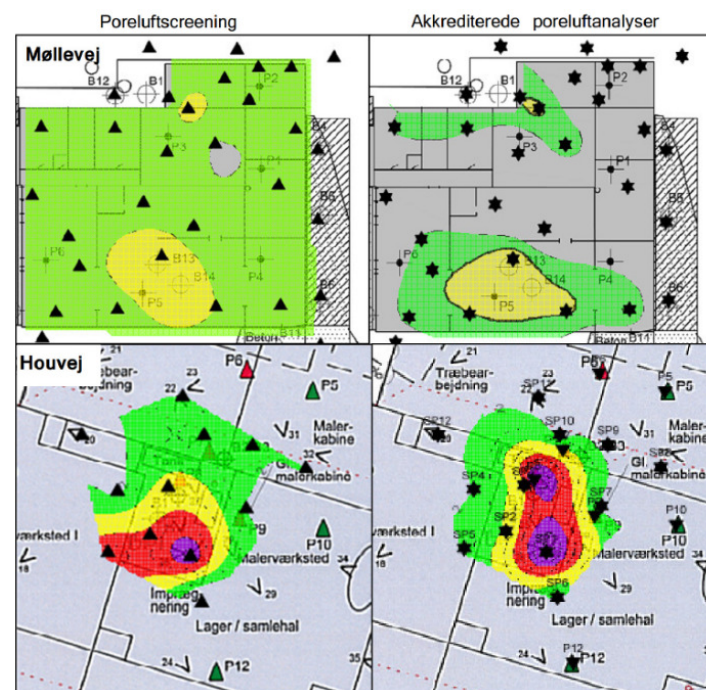
- Prøvetagning under betongulv (10 cm afrettingslag, kapillarbrydende lag, udtørrede aflejringer) -> diameter 0,4 vs. 2,5 meter!

# Resultater (screening vs. akkrediterede)

## Renseriernes (PCE):



## Kulbrintesagerne (TVOC):



*OBS: Farveskala er arbitrær på screeningsplots; mens den er givet som multiplum af kriterium for hovedkomponenterne.*

- Når man tager i betragtning, at der er tale om forskellige analysemetoder, prøvevolumener, farveskalaer mv. er der en ok overensstemmelse.
- Men ikke altid. Man skal tænke sig om!



## Konklusion:

Med omtanke – og et gran salt – kan man benytte screeningsresultater (ppbRAE og små prøvevolumener) til at estimere beliggenhed og udbredelse af poreluftforurening/jordforurening – og til dynamisk at planlægge nye målepunkter efter.

- Der er konkrete årsager til at det går rigtig godt nogle gange og mindre godt andre gange -> de er opstillet i rapporten.
- Herunder OBS-punkter til fremtidige undersøgelser.
- Og nu videre til det med den optimale vidensudnyttelse 😊.

- På baggrund af de indsamlede data har vi lavet tre forsk. statistiske analyser mhp. trække tendenser ud af datamaterialet:
  1. Jordforureningens "influenradius" mht. poreluftpåvirkning.
  2. Sikker bestemmelse af den arealvægtede middel poreluftkoncentration.
  3. Korrelationsafstand (balance imellem videnstab og vidensoverlap).

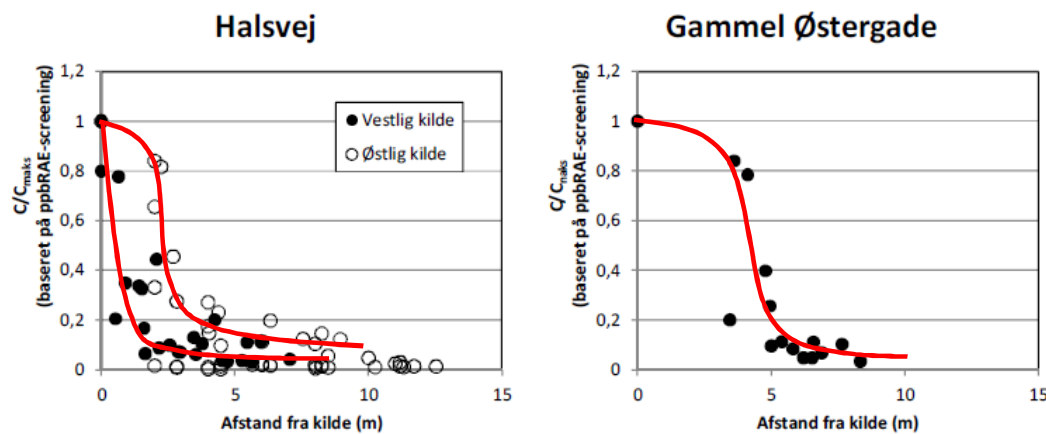
## Bemærk:

- De statistiske analyser er udført som skrivebordsøvelse efter færdiggørelse af feltkampagnen. Der er lavet en total afkobling af databehandlingen fra det oprindelige undersøgelsesformål.
- Formålet er at uddrage viden, der kan benyttes fremadrettet ...

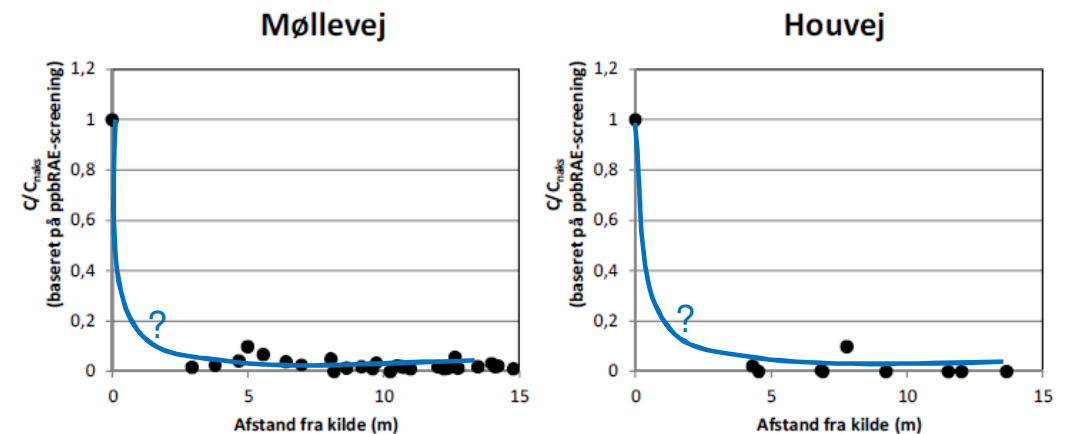
# Analyse 1 – jordforureningens influensradius

- På de 4 sager hvor data egner sig, har vi plottet den relative koncentration målt med ppbRAE som funktion af den radiære afstand fra punktet med den højeste koncentration.

## Renserieerne (PCE):



## Kulbrintesagerne (TVOC):



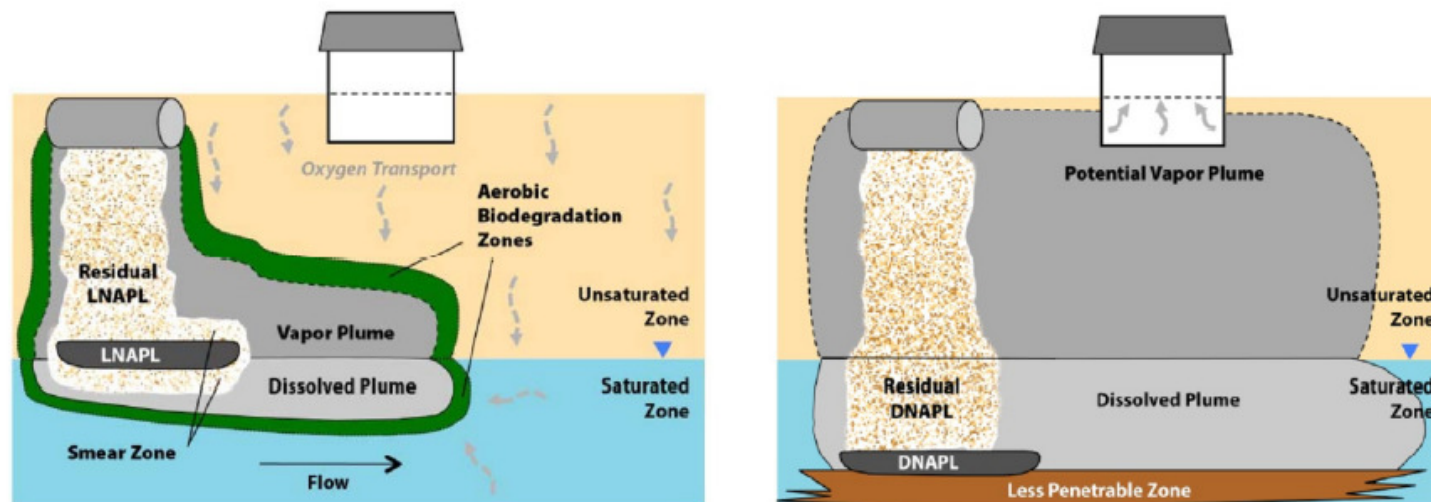
- Koncentrationen reduceret til 10-20% ca. 2-10 meter fra kilden.

- Koncentrationen reduceret til  $\ll 10\%$  mindre end 3-4 meter fra kilden.

# Analyse 1 – jordforureningens influensradius

## Konklusion:

- Influensradius for TVOC-forureninger  $\ll$  PCE-forureninger.
- Det stemmer med vores forventninger:
  - De flygtige dele af kulbrinteblandingerne gasser relativt hurtigt af og er udsat for naturlig nedbrydning i de terrænnære iltede jordlag.
  - De chlorerede opløsningsmidler ændrer ikke flygtighed over tid og forventes ikke at være udsat for naturlig nedbrydning.

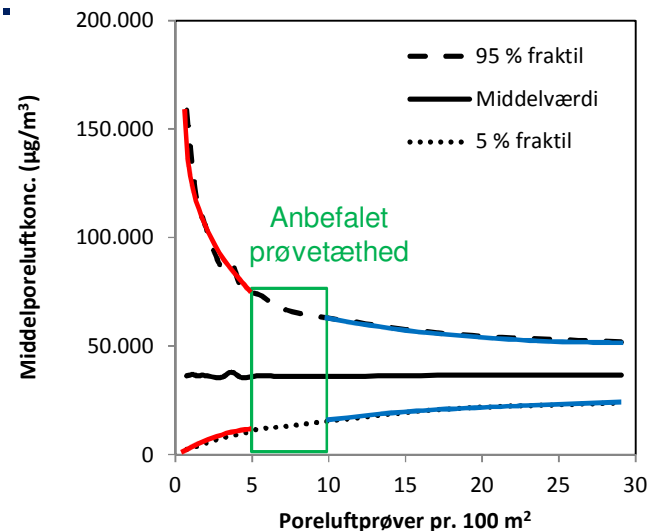


REF: *Petroleum hydrocarbons and chlorinated hydrocarbons differ in their potential for vapor intrusion (USEPA, 2012)*

# Analyse 2 – usikkerhed på middelkonc.



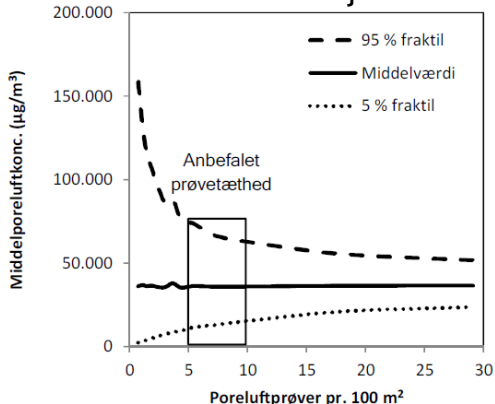
- Målparameter: Den arealvægtede middelkoncentration af poreluftforureningen, er (alt andet lige) proportional med den risiko poreluftforureningen udgør.
- Flere målepunkter (prøver pr. 100 m<sup>2</sup>) => mindre usikkerhed => mindre konf.interval. (estimeret ved percentile-t bootstrapping).
- Men flere punkter koster mere ...
- Vi "fitter" rent visuelt et optimum imellem prøvetæthed og ekstra opnået sikkerhed.



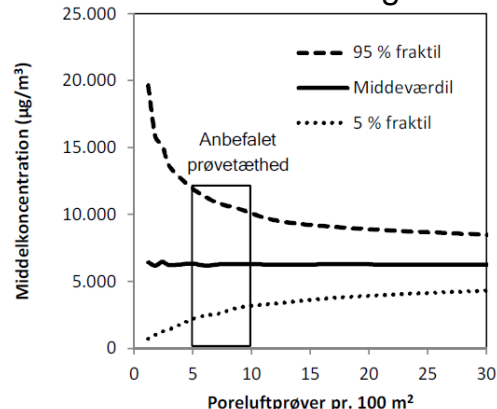
# Analyse 2 – usikkerhed på middelkonc.

## Renserieerne (PCE):

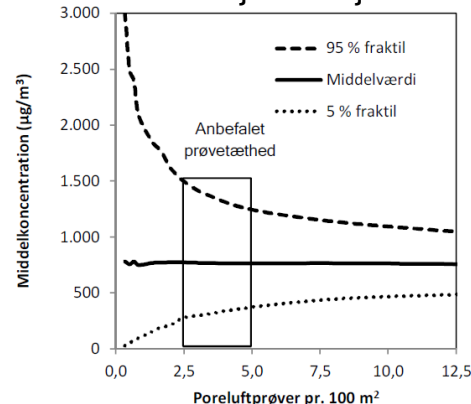
Halsvej



Gammel Østergade

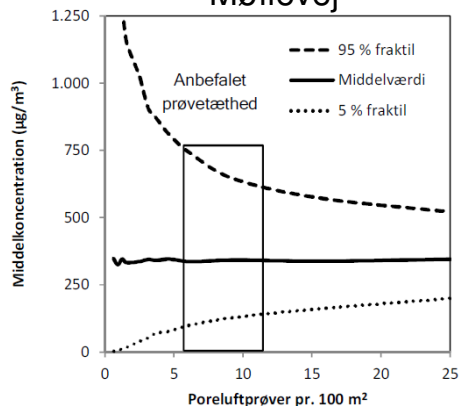


Kajerødvej

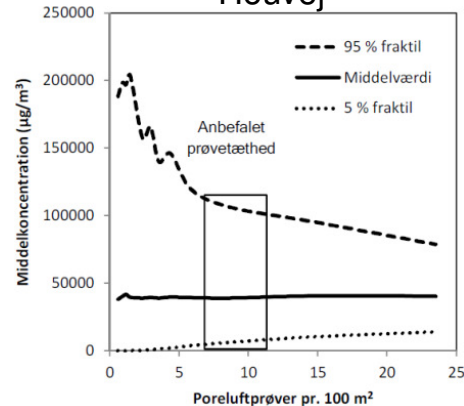


## Kulbrintesagerne (TVOC):

Møllevej



Houvej

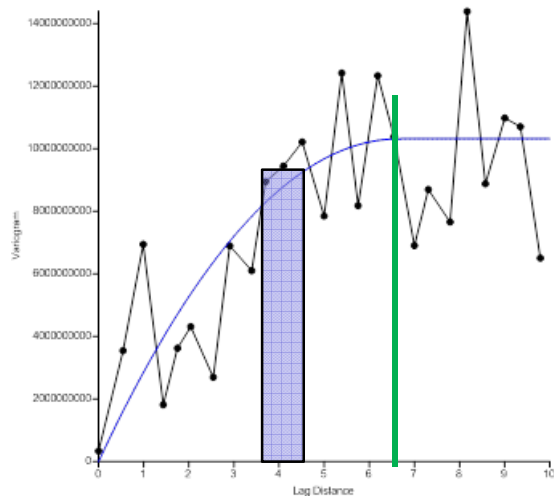


- Sagerne er forskellige mht. koncentrationsniveau (to størrelsesordner for hver gruppe), forureningsudbredelse, geologi mv.
- Alligevel er der tendenser i analysen:
  - Samme kurveform for hhv. rensierier og kulbrintesager. (aksen anderledes for Kajerødvej).
- Anbefaling, rensierier 2,5-10 prøver/100 m².
- Anbefaling, kulbrintesager 6-12 prøver/100 m².

# Analyse 3 - korrelationsafstande



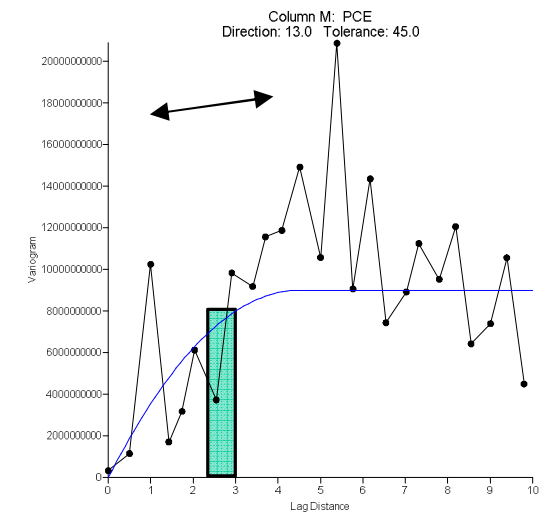
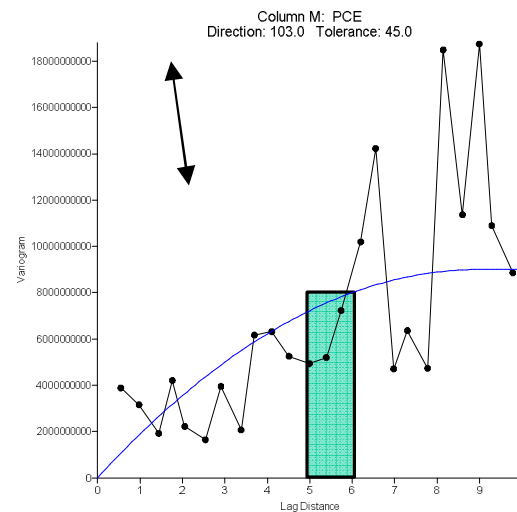
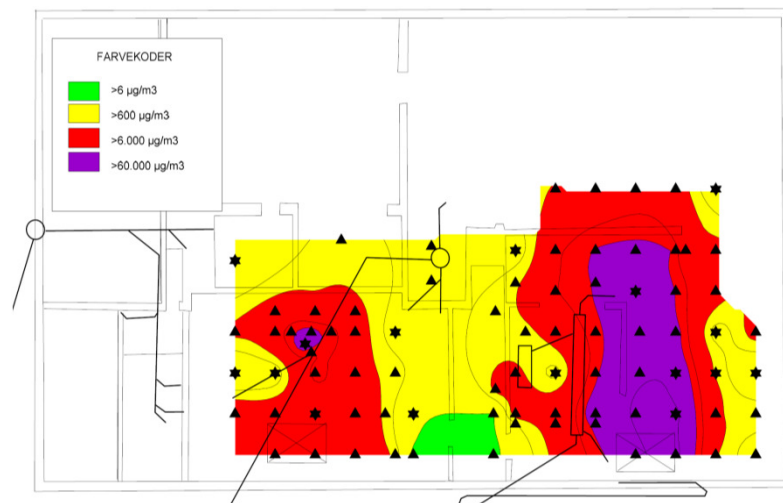
- Intuitivt forventer vi, at to poreluftprøver, der er udtaget tæt på hinanden, vil have koncentrationsniveauer, der ligner hinanden mere, end to prøver, der er udtaget langt fra hinanden.
- Denne relation udtrykkes via *variogrammet*, hvor variansen (dvs. forskellen) imellem poreluftkoncentrationer plottes som funktion af separationsafstanden imellem målepunkterne.
- Ved at fitte en model til data kan den afstand estimeres, hvor data ikke længere er korrelerede:



- Her estimeres en korrelationsafstand på 6,7 m.
- Prøver udtaget < 6,7 m fra hinanden indeholder noget af det samme information (korrelation).
- Vi definerer en "anbefalet prøveafstand", hvor der ikke mangler information imellem punkterne, men hvor der heller ikke er "for stort" informationsoverlap (80-90% af varians opnået); her 3,7 - 4,6 meter.

# Analyse 3 - korrelationsafstande

- Der tages hensyn til eventuel anisotropi/retningsbestemthed (større korrelation i én retning end en anden), f.eks. Halsvej.



- Tilsvarende analyser er udført for de øvrige lokaliteter og resultaterne opgives som både anbefalet prøveafstand og prøvetæthed (prøver pr. 100 m<sup>2</sup>).



# Opsummering på statistiske analyser



- Resultaterne af de forskellige analyser for hver lokalitet er opsummeret i en tabel i rapporten:

	Vurderingskriterium	Chlorede opløsningsmidler (PCE)			Oliekomponenter (TVOC)	
		Halsvej	Gl. Østergade	Kajerødvej	Møllevej	Houvej
Anbefalet afstand mellem målepunkter	Poreluftforurening omkring hotspots	2-6 m	ca. 5 m	i.m.	< 3 m	< 4 m
	Korrelationsafstand (variogramanalyse)	2,5-6 m	4-5 m (usikkert)	2-5 m (usikkert)	<1,5 m	i.m.
	<b>Samlet vurdering</b>	<b>2,5-6 m</b>	<b>4-5 m</b>	<b>2-5 m</b>	<b>&lt;1,5-3 m</b>	<b>&lt; 4 m</b>
Anbefalet prøvetæthed (pr. 100 m <sup>2</sup> )	Arealvægtet middel (bootstrapping)	5-10	5-10	2,5-5	6-12	7-12
	Korrelationsafstand (variogramanalyse)	7-13	4-6 (usikkert)	5-16 (usikkert)	i.m.	i.m.
	<b>Samlet vurdering</b>	<b>5-13 pr. 100 m<sup>2</sup></b>	<b>5-10 pr. 100 m<sup>2</sup></b>	<b>2,5-16 pr. 100 m<sup>2</sup></b>	<b>6-12 pr. 100 m<sup>2</sup></b>	<b>7-12 pr. 100 m<sup>2</sup></b>

*i.m. analyse ikke mulig.*

- I rapporten har vi så lavet endnu en afkobling – denne gang af de konkrete undersøgelser/analyser fra de enkelte sager.
- Og vi stillede os selv opgaven: ”Med baggrund i de erfaringer vi har gjort (og ellers har), hvad ville vi så anbefale en kollega på den næste sag?”
- Vi har kastet vores ”opdagelser” op i luften ...
  - ppbRAE-screening eller akkrediterede poreluftanalyser.
  - Prøvevolumener.
  - Influenradius for jordforurening (chlorerede vs. kulbrinter).
  - Datatæthed ift. risikovurderingsgrundlag (sikkerhed på middelniveau).
  - Datatæthed ift. balance imellem videnstab og vidensoverlap.
- ... og sorteret dem i generelle anbefalinger ift.:
  - Undersøgelsesformål: Afgrænsning, karakterisering eller screening.
  - Med skelen til om det er chlorerede opløsningsmidler eller kulbrinter.

# Anbefalinger til fremtidige sager



- Vi har kort sagt stukket halsen lidt frem og forsøgt at gøre resultaterne så anvendelige som muligt (slag på tasken):

Formål med undersøgelsen	Metodevalg og prøvevolumen	Prøvetæthed	Afstand (JF = jordforurening; MP = målepunkter)
Karakterisering af kendt kilde	Akkrediterede poreluft-analyser (10-50 L)	2-3 ved kilden	Chlorerede: <2 m fra kilde Oliekomponenter: ca. 1 m fra kilde
Afgrænsning af kendt kilde	Poreluftscreening eller akkrediterede poreluft-analyser (10-50 L)	5-10 pr. 100 m <sup>2</sup>	Chlorerede: 4-6 m radiært fra JF Oliekomponenter: 2-3 m radiært fra JF
Lokalisering af ukendte kilder	Poreluftscreening eller akkrediterede poreluft-analyser (100 L)	5-10 pr. 100 m <sup>2</sup>	Chlorerede: 2,5-4 m mellem MP Oliekomponenter: <1,5 m mellem MP

- Forbehold:

- Der tages selvfølgelig forbehold for at anbefalingerne primært er fremkommet på baggrund af 5 konkrete undersøgelser. Meget større sager kan være helt anderledes.
- Man skal selvfølgelig aldrig gøre noget i blinde og man skal altid forholde sig til betydende konkrete forhold.
- Anbefalingerne skal selvfølgelig ses som supplement til andre anbefalinger (Tek. og Adm. 3, 2010 + villavejledningen m.fl.).

- I rapporten er der anført erfaringer og anbefalinger vedr. anvendelse af poreluftscreening med ppbRAE, herunder som dynamisk undersøgelsesredskab.
- Olieforureninger ”rækker” ikke langt ud i poreluften. Det betyder at screening efter ukendte jordforureninger med olieprodukter kræver høj prøvetæthed (hvis man ønsker høj sikkerhed).
- Juster evt. prøvetagningsvolumen afhængigt af undersøgelsesformål (tag dog hensyn til ønskede detektionsgrænser).
- Vi har forsøgt at stikke halsen lidt frem og lave nogle konkrete fremadpegende anbefalinger på baggrund af 5 konkrete undersøgelser. (Jeg er spændt på hvad I siger til det 😊)
- Miljøstyrelsen har fået et udkast til rapporten til kommentar i januar 2013, så vi forventer udgivelse senere på året.

*Tak for opmærksomheden*