

Technical University of Denmark



## Skelnen mellem pesticidkilder

Fund i grundvand - flade- eller punktkilde?

**Tuxen, Nina; Roost, Sandra; Lund Laurberg Kofoed, Julie; Aisopou, Angeliki; Binning, Philip John; Chambon, Julie Claire Claudia; Bjerg, Poul Løgstrup; Thorling, Lærke; Brüsck, Walter; Esbensen, Kim**

*Publication date:*  
2014

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Tuxen, N., Roost, S., Lund Laurberg Kofoed, J., Aisopou, A., Binning, P. J., Chambon, J. C. C., ... Esbensen, K. (2014). Skelnen mellem pesticidkilder: Fund i grundvand - flade- eller punktkilde? Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

**DTU Library**  
Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Skelnen mellem pesticidkilder

Fund i grundvand – flade- eller punktkilde?

**Skellen mellem pesticidkilder  
- Fund i grundvand - flade- eller punktkilde?**

Redaktion: Miljøstyrelsen

Forfattere: Nina Tuxen, Sandra Roost og Julie Lund  
Laurberg Kofoed, Orbicon.

Angelina Aisopou, Philip J. Binning, Julie Chambon  
og Poul L. Bjerg, DTU Miljø.

Lærke Thorling, Walter Brüsck og Kim Esbensen,  
GEUS.

Udgivelsessår: 2014

Gengivelse tilladt med tydelig kildegengivelse

Illustrationer: Alle illustrationer og fotos er udarbej-  
det af Orbicon

Internetversion: [www.mst.dk](http://www.mst.dk)

Grafisk design og tryk: insign as, Hasse Pedersen

ISBN: 978-87-93026-43-8

# Indholdsfortegnelse

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Indledning</b>   | <b>4</b>  |
| <b>Definitioner</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Datagrundlag</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Salg og håndtering</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>Indikator til at skelne mellem flade- og punktkilder</b> | <b>10</b> |
| <b>Grundlag for indikatorer</b>                             | <b>12</b> |
| <b>Eksempler</b>  | <b>16</b> |
| <b>Inspiration til supplerende viden</b>                    | <b>19</b> |

# Indledning

## Baggrund

Brugen af sprøjtemidler (pesticider) i Danmark har udviklet sig over mange år, og i takt med at vi har fået større viden om pesticiders opførsel i jorden og grundvandet, er mange af de problematiske pesticider udfaset. Vi har samtidigt fået bedre muligheder for at forebygge forurening. Pesticider udgør imidlertid stadig et problem for grundvandsressourcen og den aktuelle vandindvinding i Danmark.

Det fremgår af den seneste GRUMO-rapport, at der detekteres pesticider og/eller metabolitter heraf i ca. 40 % og 25 % af hhv. GRUMO borer og vandværkers indvindingsboringer.

Der er grundlæggende to forskellige typer af kilder til forurening af grundvandet med pesticider: fladekilder, der fremkommer ved anvendelse af pesticider over store arealer og punktkilder, der fremkommer i forbindelse med selve håndteringen af pesticider (spild, gamle vaskepladser osv.).

Hvorvidt der er tale om en fladekilde eller en punktkilde har både stor betydning for, hvilke tekniske handlemuligheder, der kan være relevante, samt hvilke myndigheder, der skal handle.

Dette projekt tager fat i denne problemstilling om teknisk at skelne mellem flade- og punktkilder.

Projektet er udført som et samarbejde mellem Miljøstyrelsen, Region Syddanmark, Orbicon, DTU Miljø og GEUS under Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. De øvrige regioner har bidraget til udarbejdelsen af nærværende hæfte.

## Formål

Det overordnede formål med projektet er at udvikle en metode, der kan bruges til at skelne mellem flade- og -punktkilder i et konkret tilfælde af en forurenede grundvandsboring med pesticider (fx indvindings- el. monitoringsboring). Formålet med nærværende hæfte, er at beskrive og formidle projektet i en kortere version.

## Hvem er aktører og målgruppe?

Målgruppen er alle aktører, der arbejder med pesticidforurenede grundvand.

- Miljøstyrelsen: Godkendelse og regulering af pesticider i henhold til kemikalieloven
- Naturstyrelsen: Vurdering af grundvandets tilstand i forhold til vandplanerne samt varetagelse af den statslige grundvandskortlægning
- NaturErhvervsstyrelsen: Udvælgelse af landbrug til kommunernes krydsoverensstemmelseskontrol (KO) samt behandling af indberettede overtrædelser af KO
- Regionerne: Kortlægning og håndtering af gamle pesticidpunktkilder i henhold til jordforureningsloven
- Kommunerne: Tilsynsmyndighed, ansvarlig for indvindingstilladelser og udarbejdelse af indsatsplaner
- Vandforsyningerne: Levering af drikkevand, som skal overholde fastsatte drikkevandskvalitetskriterier

## Projektets dele

### 1: Viden om pesticidforbrug, håndtering og regulering

Der er lavet en opsamling på forbruget og anvendelsesmønstre af pesticider i Danmark over årene.

### 2: Fund-databaser

Der er opstillet to databaser, der samler analysedata fra regioners og tidligere amters undersøgelser af pesticidpunktkilder samt monitoringsdata fra GEUS' JUPITER database.

### 3: Statistisk analyse af fund

Der er udført en statistisk analyse, hvor de forskellige fund sammenlignes med fokus på koncentrationerne og forekomst samt antal stoffer.

### 4: Modellering

Der er udført modellering af pesticidgennembrud til grundvandet, hvor parametre som pesticidtype, boringstype, kildetype m.m. varieres for derigennem at vise, hvad de enkelte parametre betyder for koncentrationer i nedstrøms boringer.

## Indhold og afgrænsning

Den udviklede metode sammenstiller essensen af resultaterne fra de enkelte delaktiviteter på tværs og sætter den ind i et anvendelsesmæssigt perspektiv for at svare på spørgsmålet: hvordan kan man ud fra fund i en monitorings- eller vandforsyningsboring vurdere, om fundet skyldes en fladekilde eller en punktkilde?

Da der ikke findes én simpel metode til dette, er der i stedet tale om en række indikatorer, der kan kombineres afhængig af datagrundlaget.

Metoden er primært udviklet i forhold til vurdering af en konstateret forurening i en enkelt boring, men kan i et vist omfang også anvendes på større datasæt som omfatter et større område med flere boringer. Dette kræver dog overvejelser om tolkning og anvendelse af resultater.

Nærværende hæfte indeholder en beskrivelse af forskellene mellem flade- og punktkilder. Herefter beskrives projektets baggrundsdata samt udviklingen i salg og håndtering af pesticider gennem

årene. Så præsenteres de 11 indikatorer og hvilke forudsætninger, der gælder for deres anvendelse. Efterfølgende fremlægges nogle af de vigtigste enkeltresultater, som indikatorerne bygger på, og der gives eksempler på anvendelsen af indikatorerne. Hæftet afsluttes med inspiration til indsamling af supplerende viden.

### Vil du vide mere?

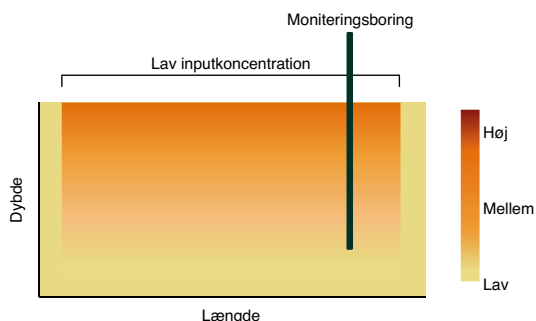
Hæftet er en kortfattet sammenskrivning af Miljøstyrelsens Miljøprojekt nr. 1502 fra 2013 "Skelnen mellem pesticidkilder". I selve miljøprojektet er alle fire delaktiviteter detaljeret beskrevet i appendix, og i disse beskrives forudsætninger, begrænsninger, undtagelsestilfælde m.m. i detaljer. Sammenstillingen af konklusionerne og udpegningen af de 11 indikatorer er beskrevet i projektets hoveddel, hvor årsager til de observerede forskelle mellem de forskellige datasæt desuden diskuteres. Endelig findes to elektroniske bilag i form af funddatabaser for hhv. JUPITER og regionernes punktkildeundersøgelser. Databaserne og de øvrige publikationer kan findes på [www.mst.dk](http://www.mst.dk).

# Definitioner

## Flade- og punktkilder

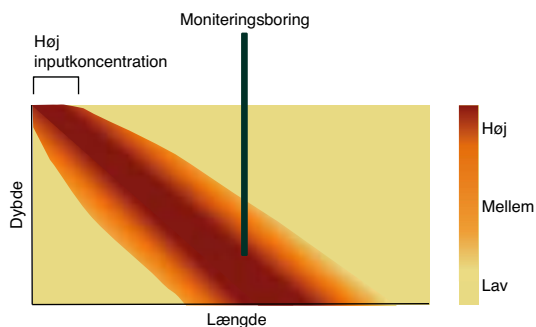
Fladekilder er karakteriseret ved lave koncentrationer over større arealer. Fladekilder kan også beskrives som den jordbrugsmæssige spredning af pesticider. Dette er typisk på landbrugsarealer, hvor pesticiderne spredes over store arealer i fortyndede koncentrationer. Derudover foregår der også spredning af pesticider bl.a. i private haver, på golfbaner og langs jernbaner.

Fladekilder giver anledning til en bred "fane" med aftagende koncentrationer over dybden.



Punktkilder er karakteriseret ved høje koncentrationer på små arealer. De kan opstå, hvor håndtering, spild eller bortskaffelse af pesticider har fundet sted. Det kan være oplag, hvor der kan være risiko for spild eller områder, hvor der foretages påfyldning, rengøring og vask af sprøjteudstyr som kan have forårsaget udledning af koncentrerede mængder af pesticider direkte til jorden, f.eks. gamle vaskepladser. Spredningsveje fra disse punktkilder kan være brønde og drænsystemer samt direkte nedsivning, der gør, at forureningen med pesticider kan sprede sig til større områder.

Forureningsfanen fra en punktkilde vil ofte være smal og er således karakteriseret ved store koncentrationsgradienter horisontalt og vertikalt gennem grundvandsmagasinet.



Imellem disse to typer kilder findes en række kildetyper; for eksempel mange små punktkilder i et samlet område, der, når de udvaskes til grundvandet, får fladekildelignende karakter, eller fx linjekilder, der opstår som følge af sprøjtning langs jernbaner, vejarealer, sti- og gangarealer m.v.

Billedet gøres endnu mere komplekst af, at der kan forekomme udvaskning fra både fladekilder og punktkilder, som samlet kan påvirke fx en nærliggende indvindingsboring.

## Andre relevante definitioner

**En prøve:** er en enkelt vandprøve udtaget på et givent tidspunkt og fra et givet indtag/filter i en boring.

**Et indtag:** er det interval, hvorfra vandet strømmer ind i en boring, og hvorfra der er udtaget en separat vandprøve. Der kan være flere indtag i samme boring, typisk karakteriseret ved, at de har hver sit filternummer. I forureningsundersøgelserne betegnes et indtag også som et filter.

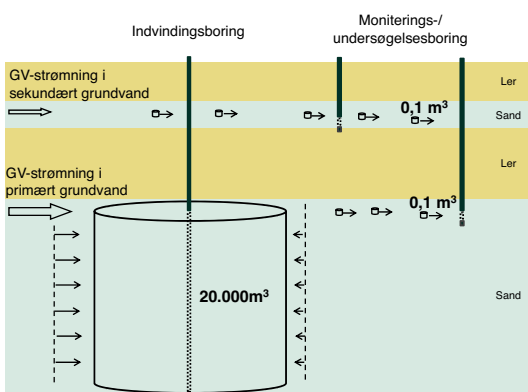
**Et fund** svarer til en analyse, hvor der er konstateret et pesticid med koncentrationer over detektionsgrænsen. Detektionsgrænsen er typisk 0,01 µg/l for pesticider og metabolitter, men har varieret gennem tiden samt i forhold til de enkelte pesticider.

**Kvalitetskrav og -kriterier:** Vandkvalitetskrav for pesticider til drikkevand er fastsat i bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, mens grundvandskvalitetskriteriet er fastsat i Miljøstyrelsens liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord. For et enkelt pesticid er kravet 0,1 µg/l og for summen af pesticider i en analyse er kravet 0,5 µg/l.

# Datagrundlag

## Boringstyper og datagrundlag

Grundlaget for udpegning af indikatorerne bygger på vandprøver, der er udtaget fra forskellige boringstyper. Formålet hermed har været at anvende data, der repræsenterer flade- og punktkilder. Der er forskel på, hvad vandprøverne repræsenterer afhængig af boringstypen, hvilket også er illustreret i nedenstående figur:



- Indvindingsboringer (I): Vandprøver herfra er udtaget fra boringer i drift, hvor der oppumpes store mængder vand. Dvs. blandingsvand, som kan stamme fra store oplande og mange års grundvandsdannelse. Der vil her ske en stor fortynding af evt. pesticider i en forureningsfane.

- Monitorings- og undersøgelsesboringer (M og U): Der udtages ofte små mængder vand og prøver herfra repræsenterer vandkernen i et bestemt punkt i magasinet på et bestemt tidspunkt.

Datagrundlaget udgøres af analyseresultater fra fem datasæt, som dels stammer fra materiale fra regionerne og dels fra GEUS's Jupiter database. Der er udelukkende anvendt fund over detektionsgrænsen. Datasættene er nærmere beskrevet i nedenstående tabel.

Dataene repræsenterer samlet set ét datasæt, som med god sandsynlighed kan henføres til punktkilder (Punkt), ét som kan henføres til fladekilder (LOOP) og tre datasæt, som teoretisk set kan indeholde fund, som kan henføres til begge typer kilder.

## Pesticidgrupper

De pesticider, der oftest konstateres i grundvandsovervågningen er phenoxysyrer (fx dichlorprop, MCPP, MCPA og 2,4-D), triaziner (fx atrazin, simazin og hexazinon) og andre pesticider som fx bentazon. Derudover konstateres der en række metabolitter/urenheder, hvor BAM er den hyppigst fundne metabolit (BAM's moderstoffer er dichlobenil og chlortiamid). Der kan findes yderligere oplysninger om de specifikke pesticider, herunder bl.a. fysiske og kemiske egenskaber samt nedbrydningsveje i Pesticid databasen, som findes på

[www.jordforurening.info](http://www.jordforurening.info).

| Data  | Beskrivelse   | Type*     |
|-------|---|-----------|
| GRUMO | Grundvandsdelen af det nationale overvågningsprogram. Boringerne er typisk i landområder dækkende hele landet.  | M         |
| LOOP  | Landovervågningsprogrammets grundvandsdel, der er en del af det nationale overvågningsprogram. Boringer er placeret i højtliggende grundvand under konventionelt dyrkede marker.<br>Der er ikke udtaget pesticidanalyser i LOOP efter 2006. Derfor er dette datasæt i et vist omfang suppleret med data fra Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand, VAP, som kun indeholder pesticider, der anvendes i dag. | M         |
| BK    | Analysen fra aktive indvindingsboringer i forbindelse med boringskontrollen,  | I         |
| AA    | Andre analyser fra Jupiter, fx små private vandforsyningsanlæg, nedlagte vandværksboringer, forureningsundersøgelser.   | I, M og U |
| Punkt | Resultater fra 46 undersøgelser af pesticidpunktkilder.   | M og U    |

\* I = Indvindingsboring, M = Monitoringsboring, U = Undersøgelsesboring



# Salg og håndtering

## Salg

Udviklingen i markedet for pesticider har sammen med udvikling af selve måden at håndtere pesticider på bevirket, at salget af pesticider har varieret meget igennem årene. Siden 1956 er der foretaget en registrering af salget, som viser, at der har været anvendt mere end 500 forskellige pesticider i Danmark. I forhold til påvirkning af grundvandsressourcen viser overvågningen, at det ofte er herbicider, der konstateres i grundvandet. Den del, der sælges til landbrugsmæssig anvendelse har ligget på 80-98% af det samlede salg af herbicider.

Nedenstående figur viser udviklingen i salget af herbicider samt udviklingen for de væsentligste stofgrupper. Frem til 1980'erne har der været en stor stigning i salget af herbicider. Det efterfølgende fald i salget skyldes bl.a. indførelsen af stoffer, som er mere effektive i forhold til deres vægt (minimidler).

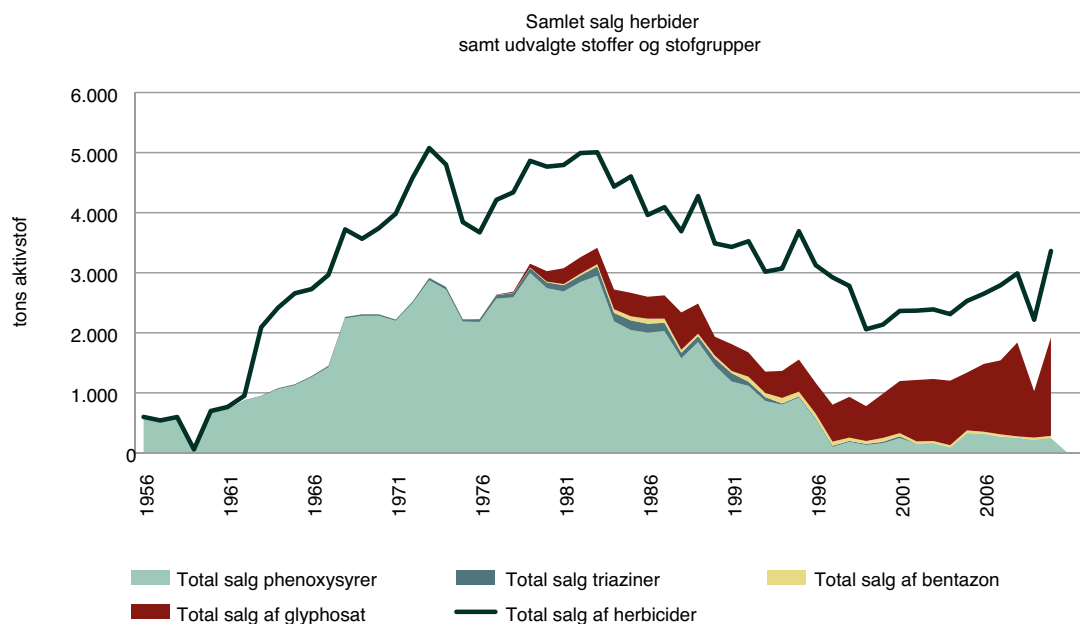
Et pesticid som fx dichlorprop har været dominerende fra det kom på markedet i 1968, hvor det har været oppe på at udgøre en tredjedel af salget af herbicider i 1976. I nyere tid har det været glyphosat, som har udgjort den største del af salget. I 2006 blev der anvendt glyphosat svarende til ca. 45 % af det danske landbrugs anvendte mængde herbicider.

Udover de registrerede solgte mængder pesticider, har der været sager, hvor der har foregået ulovlig import af pesticider. Mængden er dog ikke kendt, og derfor ikke medtaget i opgørelserne i dette projekt.

## Håndtering og regulering af pesticider

I dag er længden af sprøjtesæsonen præget af, at en stor del af alle afgrøder sås om efteråret og at ukrudtsbekæmpelse foretages bedst i disse afgrøder om efteråret. Sprøjtesæsonen strækker sig således over ca. 9 måneder om året, som dog er afhængig af vejrforholdene. Frem til 1960'erne blev der kun sået vårafgrøder og ellers tilsåning med græs den resterende del af året. I løbet af 1980'erne og 1990'erne skete der et skift fra udelukkende dyrkning af vårafgrøder til dyrkning af flere vinterafgrøder.

Udviklingen i sprøjteteknikker har haft en vis betydning for, hvilke midler, der har været anvendt. Da det i starten af 1970'erne blev muligt at præcisionssprøjte især inden for frugtavl, skete der her en stigning i forbruget af bl.a. MCPP. De første sprøjteteknikker var endvidere afhængige af adgangen til vand, mens de lidt senere teknikker gjorde det muligt med transport over større afstande.



I 1960'erne udsendte Landbrugsministeriet de første vejledninger vedrørende håndtering af pesticider, herunder opbevaring af pesticider og bortskaffelse af emballage og pesticidrester. På dette tidspunkt blev det anbefalet at bortskaffelse skete ved nedgravning. Siden 1976 har bortskaffelse og deponering af pesticider været reguleret som farligt affald. Det er dog først i 1987 at det blev indskærpet, at ikke brændbar emballage ikke længere må graves ned, men skal afleveres til kommunernes modtagerstation sammen med eventuelle pesticidrester.

I 1966 kom der ligeledes den første vejledning omkring rengøring af sprøjterne. Sprøjterne skulle gennemskylles med rigeligt vand. Skyllevandet måtte ikke ledes til kloak, dræn, gadekær eller vandløb og det blev anbefalet ikke at anvende samme sted for udtømning af skyllevand. I 2009 udsendte Miljøstyrelsen en bekendtgørelse, som stillede krav om, at påfyldning og vask skulle ske på en vaskeplads

med opsamling af vaskevand eller på et areal, der i forvejen bekæmpes med det samme middel.

Den første nationale handleplan inden for pesticidområdet blev introduceret i 1986, hvor målet bl.a. var en halvering af forbruget. Handleplanen førte også til, at Miljøstyrelsen i 1996 havde revurderet 209 pesticider, hvoraf 29 blev forbudt eller strengere reguleret. I perioden frem til 2009 kom der yderligere to handleplaner bl.a. mhp. reguleringen af pesticiderne. Alle tre handleplaner har fulgt frivillighedsprincippet.

Regeringen vedtog i 2013 en sprøjtemiddelstrategi, hvor målet var at reducere sprøjtemidlernes belastning af natur og miljø med 40 % frem til udgangen af 2015. Strategien indeholder bl.a. en ændring af pesticidafgiften, der gør, at de mest belastende midler bliver dyrere, skærpet kontrol og en ændret godkendelsesordning.



# Indikatorer til at skelne mellem fladekilder og punktkilder



## Hvordan kan indikatorerne anvendes?

Der er opstillet 11 indikatorer, der peger på hhv. en fladekilde eller en punktkilde som sandsynlig årsag til en konstateret grundvandsforurening. Indikatorerne kan anvendes i forbindelse med fund i nedstrøms ikke-terrænnære boringer - fx indvindingsboringer og monitoringsboringer. Indikatorerne kan ikke som udgangspunkt anvendes på fund i undersøgelsesboringer i forbindelse med forureningsundersøgelser på selve punktkildelokaliteterne.

For at gøre metoden så anvendelsesorienteret som muligt, er konklusionerne fra de bagvedliggende delaktiviteter skærpet og til tider forenklet, og undtagelsestilfælde har fået mindre vægt.

Det anbefales, at metoden anvendes som et første kvalificeret bud på en kildeårsag, men at denne vurdering efterfølgende suppleres med en generel vurdering i forhold til fx (hydro)geologi, filterplacement, boringstilstand, arealanvendelse osv.

Indikatorerne er kun illustreret som en "JA"-test, hvilket betyder, at et "NEJ" ikke medfører det modsatte udsagn.

Det anbefales at alle 11 indikatorer gennemgås ved en vurdering af et fund. Indikatorerne er ikke rangordnet, og der er ikke nødvendigvis sammenhæng mellem antal af "JA'er" på en kildetype og sikkerhed for om vurderingen er rigtig. Samme boring kan godt være påvirket samtidig af både en flade- og punktkilde.

Nogle indikatorer kan anvendes hvis man har funddata fra en enkelt analyse, mens andre kræver fund i flere analyser. Flere analyser kan fx være en tidsserie for fund i samme boring, eller det kan være samtidige analyser med fund i nærliggende boringer og filtre. Også informationer om analyser uden fund har stor værdi for vurderingerne.

Særlige forhold gør sig gældende i forhold til metabolitten BAM. BAM kan pga. moderstoffernes anvendelsesmønstre findes i højere koncentrationer end de øvrige stoffer, selvom der ikke er tale om en punktkilde. Hvis BAM er det eneste stof tilstede, er der derfor sandsynligvis ikke tale om en punktkilde, selvom nogle af de andre indikatorer peger herpå.

På side 12 - 15 er beskrevet det faglige grundlag for indikatorerne og på side 16 - 18 er vist eksempler på anvendelse af indikatorerne.

| Fund i en enkelt analyseret vandprøve |    |  |   |    |       |
|---------------------------------------|----|--|---|----|-------|
|                                       |    |  | Tilstedeværelse af mange stoffer (mindst 4 stoffer > detektionsgrænsen) og/eller mindst 2 stoffer > grundvandskvalitetskriteriet        | Ja | PUNKT |
|                                       |    |  | Fund i høje koncentrationer (mindst 1 stof > 1 µg/l)  | Ja | PUNKT |
| FLADE                                 | Ja |  | Kun BAM og kun i lave koncentrationer (max konc: 0,1 µg/l)  |    |       |
| FLADE                                 | Ja |  | Lave koncentrationer af alle stoffer (max konc: 0,05 µg/l)  |    |       |
| FLADE                                 | Ja |  | Høj andel af metabolitter (dog ikke phenoxysyre-metabolitter)   |    |       |
| Fund i flere analyserede vandprøver   |    |  |   |    |       |
|                                       |    |  | Samme stof genfindes men i varierende koncentrationer (> en størrelsesorden)  | Ja | PUNKT |
| FLADE                                 | Ja |  | Stor variation i hvilke stoffer, der findes over tid  |    |       |
|                                       |    |  | Stejl gennembrudskurve for enkeltstof (mindst ca. 0,01 µg/l/år)   | Ja | PUNKT |
|                                       |    |  | Fleere fund af phenoxysyrer (moderstoffer og/eller metabolitter og urenheder) > 0,1 µg/l  | Ja | PUNKT |
|                                       |    |  | Horizontal variation i koncentration af samme stof/stoffer i dybe boringer (>10 m) placeret inden for 100m                              | Ja | PUNKT |
|                                       |    |  | Forekomst af et stof i en indvindingsboring, der ikke forekommer i mere terrænnære boringer (Boringerne skal være i hydraulisk kontakt) | Ja | PUNKT |

# Grundlag for indikatorer

## Fundprocenter i boringstyper

Det er opgjort i hvor mange grundvandsanalyser, der er fundet pesticider over hhv. 0,01 µg/l (som i mange tilfælde svarer til detektionsgrænsen) og 0,1 µg/l, der svarer til grundvandskvalitetskriteriet for enkeltstoffer.

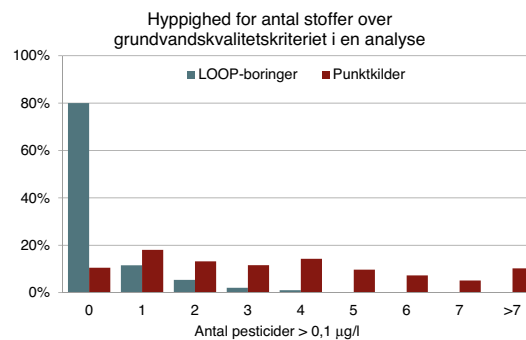
Langt de højeste fundprocenter træffes i analyser fra punktkilderne, hvilket skyldes, at de fleste boringer er undersøgelsesboringer, som er placeret ud fra en vurdering af, hvor pesticiderne højest sandsynligt er. Faktisk er fundprocenten for punktkilder meget tæt på 100 %. Dette var også resultatet af en erfaringsopsamling på 123 amtslige undersøgelser af pesticid-punktkilder (udført i 2002 af det daværende Amternes Videncenter for Jordforurening). Samlet set viser det, at der konstateres pesticider på stort set alle de potentielle punktkilder, man har undersøgt indtil nu.

I de øvrige datasæt (fladekildedatasættet LOOP, vandværkernes boringskontrol BK og grundvandsovervågningen GRUMO) er fundprocenterne lavere men dog stadig høje. Det er dog markant, at andelen af analyser med fund over kvalitetskriteriet,

ikke er så stor. Af tabellen fremgår også, at antallet af analyser er meget forskellig i datasættene.

## Antal stoffer

En meget tydelig forskel mellem datasættene fremstod, da antallet af fundne stoffer i samme analyse blev talt. Mens der i fladekildedatasættet (LOOP) i langt overvejende grad sås meget få stoffer, optrådte der hyppigt mange stoffer samtidigt i punktkildedatasættet. Nedenstående figur viser antal stoffer over grundvandskvalitetskriteriet, og samme konklusion var gældende for antal stoffer over detektionsgrænsen.



| Datasæt     | Antal analyser |             |            | Andel analyser i % |            |
|-------------|----------------|-------------|------------|--------------------|------------|
|             | Antal          | ≥ 0,01 µg/l | ≥ 0,1 µg/l | ≥ 0,01 µg/l        | ≥ 0,1 µg/l |
| LOOP        | 1.711          | 520         | 90         | 30,4               | 5,3        |
| BK          | 26.771         | 7.272       | 1.220      | 27,2               | 4,6        |
| GRUMO       | 14.909         | 3.811       | 1.329      | 25,6               | 8,9        |
| Punktkilder | 409            | 402         | 333        | 98,3               | 81,4       |



## Stoffer

Der er markant forskel på hvilke stoffer/stofgrupper, der optræder over detektionsgrænsen i de forskellige boringstyper. Selvom fordelingerne er præget af hvor mange analyser, der er foretaget i de forskellige datasæt, kan fordelingerne alligevel bruges til at indikere kildetypen (fx er der i BK datasættet mange analyser alene for BAM, idet mange vandværker har foretaget ekstraanalyser i boringer, hvor dette stof er blevet påvist).

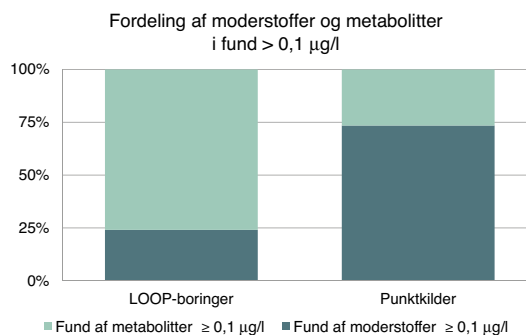
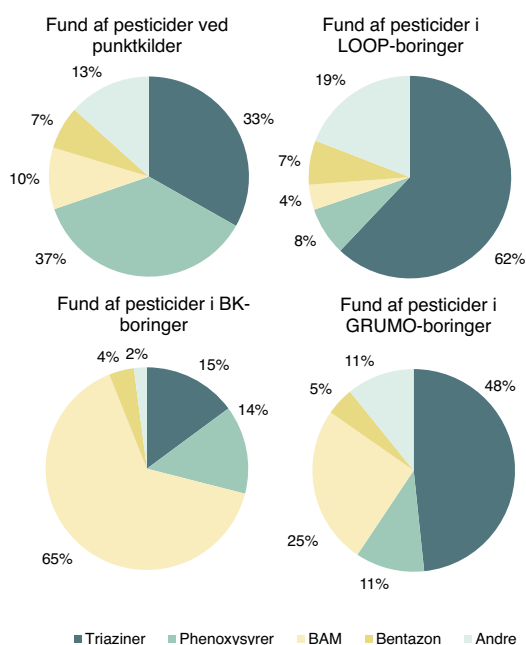
Det er bemærkelsesværdigt, at der ikke ses nogen sammenhæng mellem mængden af pesticider der er anvendt (illustreret ved salget, se side 8) og fundandelene. Fx er der store fundandele for både triazinerne og BAM, men hverken triaziner eller BAM's moderstoffer (ikke vist på figuren) har domineret pesticidanvendelsen.

BAM, der dominerer fundene i vandværksboringer, ses at optræde sjældent i såvel fladekildedatasættet (LOOP) og punktkildedatasættet. Dermed underbygges hypotesen om, at den hyppigste kilde til BAM-forurening er anvendelse af moderstoffet på gårdspladser, i byområder osv. I Miljøstyrelsens miljøprojekter nr. 732 og 1000 fra hhv. 2002 og 2005 kan der læses mere om kilderne til BAM og BAM's spredningsmønstre i grundvandet.

Phenoxysyrer (inkl. metabolitter/urenheder) optræder meget hyppigt i punktkildedatasættet men til gengæld sjældent i fladekildedatasættet (LOOP). Phenoxysyrer er desuden den pesticidgruppe, der optræder hyppigst på lossepladser, hvilket sandsynligvis skyldes, at phenoxysyrer er svært nedbrydelige under de anaerobe forhold, der ofte findes nær lossepladser.

For de øvrige stoffer er der ikke markant nok forskel mellem hyppighederne i datasættene til at indikere kildetype.

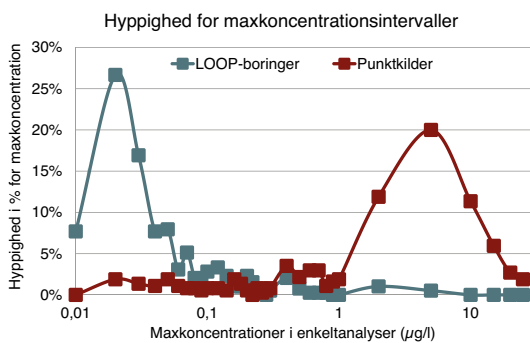
Også fordelingen af moderstoffer og metabolitter/urenheder viser sig forskellig i boringstyperne (BAM, der er en metabolit, blev dog taget ud af datasættet i denne analyse, for ikke at overdøve billedet for de øvrige stoffer). Hvis der ses på analyser med fund af et eller flere stoffer  $> 0,1 \mu\text{g/l}$ , viser det sig, at metabolitterne udgør den største andel ved fladekilderne, mens moderstofferne dominerede punktkildedatasættet (figuren nedenfor illustrerer fordelingen af antallet af analyser med fund  $> 0,1 \mu\text{g/l}$  - vist som procent - af henholdsvis metabolitter og moderstoffer i hver af boringstyperne). Undtaget herfra er dog metabolitter/urenheder fra phenoxysyrer, som findes hyppigst i punktkildedatasættet. Når en nedstrøms boring vurderes i forhold til fordeling af moderstoffer/metabolitter skal det medtages i vurderingen, at der under transporten fra en punktkilde til en nedstrøms boring kan ske nedbrydning, og dermed en øget forekomst af metabolitter.





### Koncentrationsniveau

Ses der på hyppigheden for max-koncentrationer i de forskellige datasæt, er det ikke overraskende, at der i fladekildedatasættet (LOOP) hyppigst optræder lave koncentrationer ( $<0,05 \mu\text{g/l}$ ), mens der i punktkildedatasættet hyppigst optræder høje koncentrationer ( $>1 \mu\text{g/l}$ ). Det viser sig imidlertid også, at der mellem disse to koncentrationsniveauer ikke er markant forskel mellem datasættene. Hertil kommer, at en punktkildekoncentration vil fortyndes meget mere under transporten til en monitorings- eller indvindingsboring end en fladekildekoncentration vil. Det er dermed vanskeligt at argumentere for, at lave koncentrationer med sikkerhed skyldes fladeforurening. Hvis koncentrationen er meget lav ( $< 0,05 \mu\text{g/l}$ ), er der dog en god sandsynlighed for at årsagen er en fladekilde.

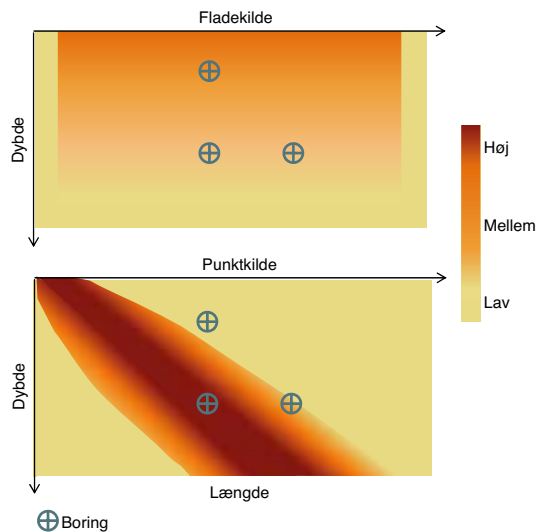


### Rumlig variation

Koncentrationsfordelingerne i et grundvandsmagasin under/nedstrøms hhv. en fladekilde og en punktkilde vil se meget forskellig ud. Dette mønster kan anvendes, hvis man har flere boringer/filtre tæt på hinanden.

Hvis fx to nærliggende filtre, placeret i samme magasin og samme dybde, viser meget forskellig koncentration kan det bedst forklares ved en punktkilde, da de horisontale variationer under en fladekilde vil være minimale.

Hvis påvirkningen skyldes en fladekilde vil man forvente aftagende koncentrationer med dybden. Men hvis det modsatte observeres, kan det skyldes en punktkilde.

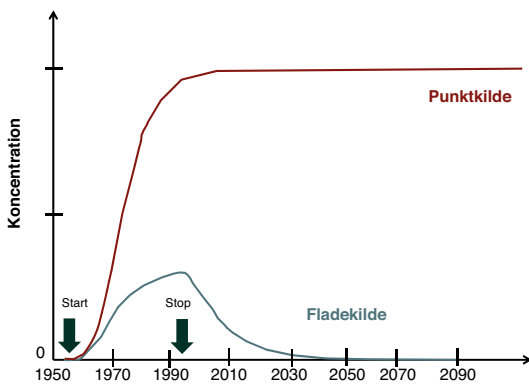


### Tidslig variation

Modellsimuleringer viste, at gennembrudskurverne for påvirkning fra hhv. en fladekilde og en punktkilde var forskellige. I simuleringerne blev pesticiderne tilført modellen på grundvandsspejlet, så fokus i modelleringen er på mekanismerne i grundvandet. Det betyder, at de komplicerede processer, der forekommer i den umættede zone, bypasses i modelleringen.

Mens gennembrudskurverne fra en fladekilde vil være udjævnet, ses et stejlere gennembrud fra en punktkilde. Simuleringerne viste også, at for stoffer, der ikke anvendes længere, vil udvaskningen fra fladekilder ske langt hurtigere end fra punktkilder, idet punktkilden sandsynligvis vil vedvare med at eksistere i mange år frem.

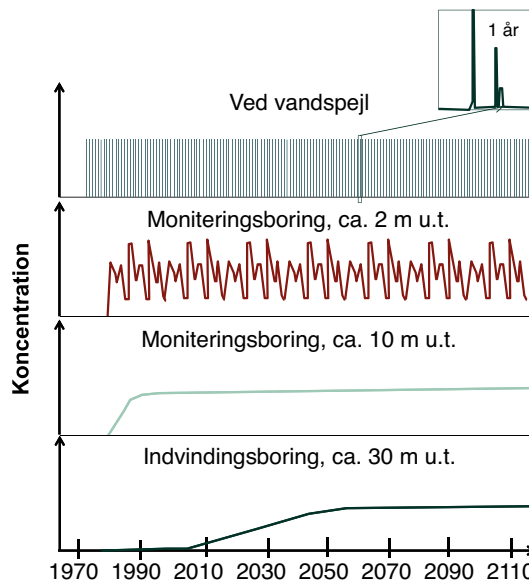
Det skal bemærkes, at geologi og hydrogeologi samt stofegenskaberne betyder meget for det nøjagtige forløb af gennembrudskurverne for både fladekilder og punktkilder. Den viste figur er resultatet af en simulering af et pesticid, der hverken sorberes eller nedbrydes, i en homogen akvifer. I appendix til projektrapporten er vist kurver, hvor disse forhold er varieret.



For fladekilder vil variation i anvendelse af pesticider mellem og over året betyde væsentlige forskelle i inputkoncentration. Det viser sig imidlertid at denne variation meget hurtigt dæmpes ved transporten ned gennem magasinet som følge af den omfattende dispersion.



Variationer i strømningsretning i grundvandsmagasinet vil heller ikke betyde meget for koncentrationerne i grundvandsmagasinet hvis kilden er en fladekilde, da de horisontale variationer er minimale. Derimod vil selv små ændringer i strømningsretning kunne betyde, at et filter ændrer sig fra at stå centralt i en forureningsfane fra en punktkilde til at stå på kanten eller helt uden for fanen. Dette vil medføre store tidlige koncentrationsvariationer. Store tidlige forskelle over lange perioder i hvilke stoffer, der optræder, kan dog bedst forklares ved fladekilder.



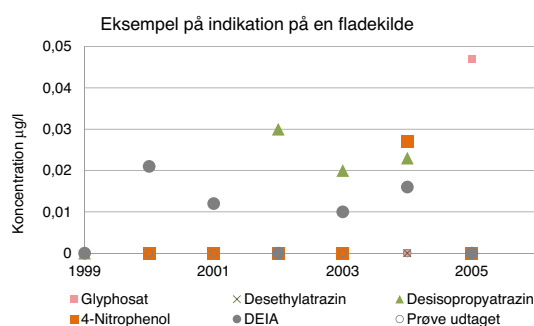


# Eksempler

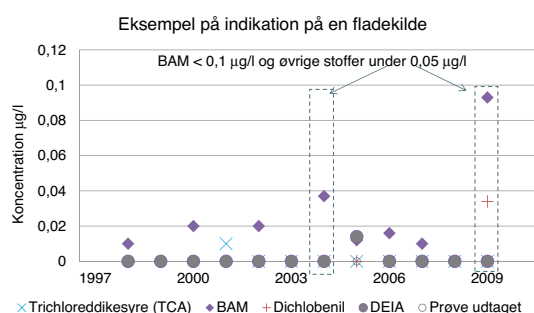
## Eksempler på indikatorer på en fladekilde

En tidsserie giver et godt datagrundlag til vurdering af, hvorvidt fund kan henføres til en flade- eller punktkilde. Nedenstående tidsserie, som stammer fra en monitoringsboring, viser fund af flere stoffer med koncentrationer på mindre end 0,05 µg/l.

Sammenholdes dette med den store variation i fund af de forskellige stoffer samt ingen fund af phenoxy-syrer, er der her tre indikatorer på en fladekilde.



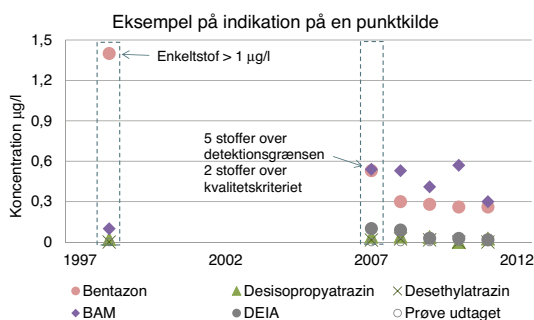
Der kan dog også være situationer, hvor der ikke er data fra en længere tidsserie, men tale om vurdering af enkeltfund. I nedenstående figur er der rammet om enkeltfund ind, som begge kan indikere påvirkning fra en nærliggende fladekilde. Der er konstateret indhold af BAM, som ligger under 0,1 µg/l og de øvrige enkeltstoffer er mindre end 0,05 µg/l. Samlet set indikerer hele tidsserien også, at fundene sandsynligvis kan henføres til en fladekilde.



Området, hvor boringen er placeret, er præget af en del mindre landbrug, der hovedsageligt dyrker grøntsager og derfor formodes at have en vaskeplads. Denne boring er dog placeret i en betydelig afstand fra gårdene, hvormed en påvirkning fra punktkilderne herfra ikke vurderes sandsynlig. Dermed vurderes boringen udelukkende at indeholde bidrag fra fladekilder ud fra den geografiske beskrivelse af området.

## Eksempler på indikatorer på en punktkilde

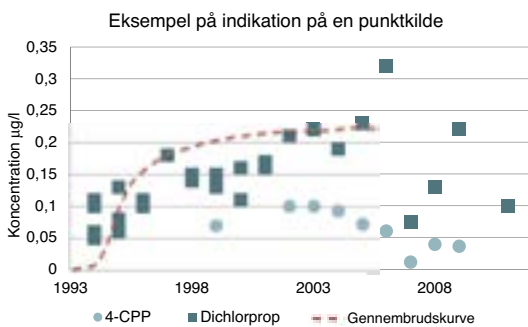
Der er konstateret fund med en række forskellige stoffer i nedenstående monitoringsboring.



Her er det både enkeltfund samt den samlede tidsserie, der kan indikere påvirkning fra en punktkilde. I 1998 er der fund af ét stof med en koncentration større end 1,0 µg/l. Senere i 2007, er der fund af op til fem stoffer over detektionsgrænsen, hvoraf to af stofferne ligger over grundvandskvalitetskriteriet. Derudover genfindes de samme stoffer i varierende koncentrationer. Endelig viser hele tidsserien, at der forekommer et forholdsvis højt indhold af bentazon, som ligger stabilt i den sidste ende af tidsserien, som kan være tegn på et gennembrud fra en stabil forureningsfase. De lave indhold af nedbrydningsprodukterne fra triaziner kan være påvirkning fra en fladekilde. Det vil sige, at udover, at der er flere indikationer på, at denne boring er påvirket af en punktkilde, kan der således også være en mindre påvirkning fra en fladekilde.



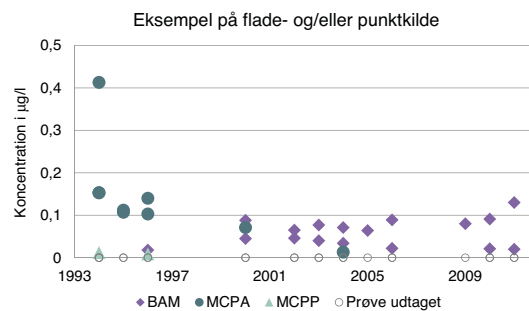
Fund af phenoxysyrer i koncentrationer over grundvandskvalitetskriteriet kan indikere påvirkning fra en punktkilde. Nedenstående fund i en tidligere indvindingsboring er et eksempel herpå.



Tidsserien viser endvidere en udvikling i koncentrationen af dichlorprop, som antyder en stejl gennembrudskurve fra det første fund i 1994. Netop en stejl kurve ved et gennembrud er en af pointerne i indikatorerne på en punktkilde. Det er sandsynligt, at der forekommer et senere fald i koncentrationerne såfremt kilden til forureningen stoppes eller afværges. Opstrøms denne boring er der efterfølgende konstateret et hotspot omkring en tidligere vaskeplads, som vurderes at være kilden til fundene i ovenstående boring.

### Eksempler på indikatorer på en fladekilde og punktkilde

Der kan være fund, hvor der kan være indikatorer på både en flade- og punktkilde eller tvivl om, hvilken kilde der er mest betydende. I nedenstående indvindingsboring er der konstateret indhold af phenoxysyren MCPA over grundvandskvalitetskriteriet samt mindre indhold af MCPP og BAM.



Gentagne fund med indhold af phenoxysyrer i varierende koncentrationer samt fund af to stoffer over grundvandskvalitetskriteriet kan være indikator på en punktkilde. Derudover viser en nærliggende boring udelukkende indhold af BAM i de udtagne vandprøver, hvilket kan tyde på en horisontal variation. På den anden side, er der tale om en

ældre boring, hvor der kan være stor sandsynlighed for gennemtæring af forerøret samt risiko for lodret lækage pga. boremetoden på daværende tidspunkt (se også side 19). Det er således svært at afgøre, hvorvidt indholdet af phenoxysyrer skyldes påvirkning fra en punktkilde og om indholdet af BAM skyldes påvirkning fra en evt. fladekilde. Eller om den konstaterede forurening i boringen skyldes boringens aktuelle stand.

Fund i en boring kan suppleres med yderligere viden, ved at indsamle data fra nærliggende borer. Formålet er at vurdere, hvorvidt der er tegn på en horisontal eller vertikal variation, som vil kunne indikere en punktkilde. Nedenfor er vist fund i to indvindingsboringer, som ligger meget tæt på hinanden (ca. inden for 100 m).

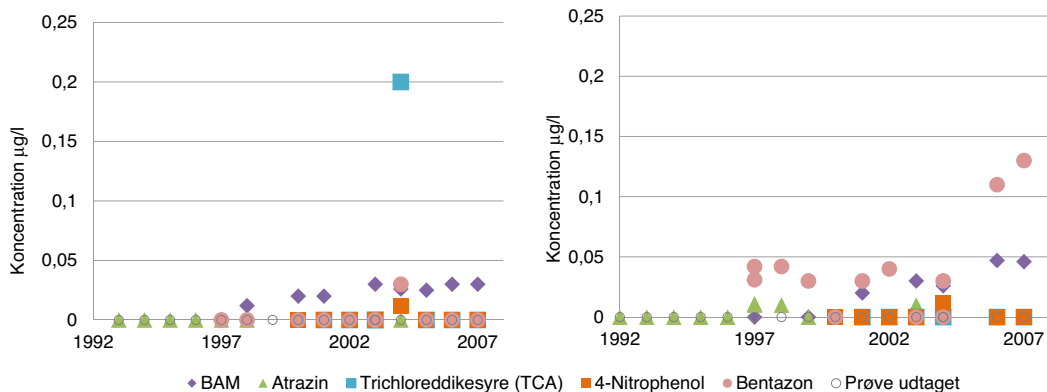
I oplandet til nedenstående to indvindingsboringer er der intensivt landbrug med stort husdyrhold, hvor korn og majs er vigtige afgrøder. Der er en

meget sandet geologi, og borerne er filtersat i samme dybde i kalken fra ca. 10-50 m u.t.

Tidsserierne viser, at der i begge borer konstateres fund med BAM i lave koncentrationer (<0,05 µg/l). I boringen til venstre er der generelt fund med lave koncentrationer samt et enkelt indhold af TCA på 0,2 µg/l. I boringen til højre derimod ses en stigende koncentration af bentazon med 0,009 µg/l/år over 11 år.

Ud fra de opsatte indikatorer tyder det på, at boringen til højre kan være påvirket af en punktkilde pga. samme stof i varierende koncentrationer i mere end én størrelsesorden, stejl gennembrudskurve og en horisontal variation i forhold til den nærliggende boring, hvor der observeres et anderledes fundmønster. Derudover tyder det på, at begge borer også kan være påvirket af en fladekilde på grund af de lave koncentrationer med BAM, som ligger inden for samme koncentrationsniveau i de to borer.

Eksempel på horisontal variation



# Inspiration til supplerende viden

## Konceptuel forståelse

Såfremt de opstillede indikatorer ikke er tilstrækkelige til vurdering af fund med pesticider eller der er brug for supplerende viden, er der en række oplysninger, der kan være med til at styrke konklusionerne.

Opstilling af en konceptuel model for det pågældende område, vil kunne lette forståelsen af den række faktorer, der kan have indflydelse på, hvilke fund af pesticider, der konstateres i nedstrøms borer. De elementer, der kan indgå i den konceptuelle model er:

- Geografisk overblik over pesticidanvendelsen i området (på marker, veje/stier, vaskepladser m.m.) - herunder så vidt muligt historisk information fx ved hjælp af gamle flyfotos, sprøjtejournaler m.m.
- Tilstedeværelsen af lossepladser i området bør undersøges
- Fysisk-kemiske egenskaber for de relevante pesticider, herunder en vurdering af om der er tale om sorberende og/eller nedbrydelige pesticider under de givne forhold
- De geologiske og hydrogeologiske forhold - herunder forekomst af lerlag, vandløb, og andre ting, der kan påvirke spredningen
- De eksisterende borer i området med angivelse af hvilken type boring, der er tale om (indvindingsboring, monitoringsboring eller undersøgelsesboring)
- Analysedata fra de eksisterende borer - både pesticidanalyser og analyser af almen vandkemi (herunder redoxforhold)
- Supplerende analysedata for at opnå en tidsserie over længere tid

## Forhold omkring en indvindingsboring

Tilstanden for en aktiv indvindingsboring kan også have betydning for eventuelle fund af pesticider. Ældre borer er ofte udført med stålforerør. Gennemtæring af sådanne forerør forventes at kunne ske efter 20-30 års levetid, hvilket betyder, at der er en betydelig risiko for lækage som følge af korrosion. Derudover er det typisk for borer udført før 1960, at der kan opstå lodrette lækager langs forerøret, da borerøret på dette tidspunkt ofte har været anvendt som forerør.

Derudover kan ændrede pumperater i en indvindingsboring resultere i ændrede pesticidkoncentrationer. Det er dog vanskeligt at forudsige konsekvensen heraf. I en konceptuel model, kan forsøg med ændrede pumperater og tilhørende pesticidobservationer muligvis anvendes, til at afgøre om fundene skyldes den ene eller den anden kildetype.

## Undersøgelse af en potentiel punktkilde

Der er tidligere udarbejdet et projekt, som havde til formål at introducere forskellige undersøgelsesstrategier samt en række metoder til arbejdet med identifikation, undersøgelse og risikovurdering af pesticidpunktkilder. Der kan læses mere herom i hæftet "Undersøgelse af pesticidkilder" fra 2011, som kan findes her [www.mst.dk](http://www.mst.dk).





**DTU Miljø**  
Institut for Vand og Miljøteknologi



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
[www.mst.dk](http://www.mst.dk)