

Arbejdsrapport fra DMU nr. 122

# Forbud mod pesticidudbringning i vinterhalvåret

Konsekvenser for forurening  
af vandløb og søer via drænvand

Terræstrisk Miljø

# Arbejdsrapport fra DMU nr. 122

Terrestrisk Miljø

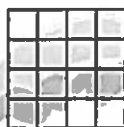
## Forbud mod pesticidudbringning i vinterhalvåret

Konsekvenser for forurening  
af vandløb og søer via drænvand

Niels Elmegaard  
Hans Løkke  
Morten Strandberg  
*Afdeling for Terrestrisk Økologi*

Ruth Grant  
Morten L. Pedersen  
Lars M. Svendsen  
*Afdeling for Vandløbsøkologi*

Peter B. Sørensen  
*Afdeling for Miljøkemi*



Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
2000

## Datablad

Titel:	Forbud mod pesticidudbringning i vinterhalvåret
Undertitel:	Konsekvenser for forurening af vandløb og søer via drænvand. Terrestrisk Miljø.
Forfattere:	Niels Elmegaard <sup>1</sup> , Ruth Grant <sup>2</sup> , Hans Løkke <sup>1</sup> , Morten L. Pedersen <sup>2</sup> , Morten Strandberg <sup>1</sup> , Lars M. Svendsen <sup>2</sup> , Peter B. Sørensen <sup>2</sup>
Afdelinger:	<sup>1</sup> Afdeling for Terrestrisk Økologi <sup>2</sup> Afdeling for Vandløbsøkologi <sup>3</sup> Afdeling for Miljøkemi
Serietitel og nummer:	Arbejdsrapport fra DMU nr. 122
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser ©
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>
Udgivelsestidspunkt:	Marts 2000
Layout:	Bodil Thestrup
Bedes citeret:	Elmegaard, N., Grant, R., Løkke, H., Pedersen, M.L., Strandberg, M., Svendsen, L.M. & Sørensen, P.B. (2000): Forbud mod pesticidudbringning i vinterhalvåret: Konsekvenser for forurening af vandløb og søer via drænvand. Terrestrisk Miljø. Danmarks Miljøundersøgelser. 42 s. – Arbejdsrapport fra DMU nr. 122.
Abstract:	<p>Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.</p> <p>Konsekvensen af at forbyde pesticidanvendelse i vinterhalvåret for flora og fauna i vandløb og søer blev analyseret. Afstrømningen via dræn og vandføringen i vandløb beskrives ud fra data indsamlet i tre små oplande, der indgår i landovervågningsprogrammet. Betydningen af sprøjetidspunktet analyseredes vha. et datasæt fra et svensk opland, hvor pesticidkoncentrationerne i vandløb og dræn er målt gennem hele året. Samlet vurderes det at være meget usikkert, om et forbud mod pesticidanvendelse i vinterhalvåret vil reducere risikoen for effekter på flora og fauna. Det skyldes blandt andet, at risikoen ved et øget forbrug i månederne, der støder op til forbudsperioden for flora og fauna, er betydelig, idet pesticidkoncentrationen her kan blive højere i vandløb, og risikoen for hurtig afstrømning af pesticiderne er større.</p>
Frie emneord:	Pesticider, overfladevand, afstrømning, konsekvensanalyse.
Redaktionen afsluttet:	Januar 2000
ISSN:	1395-5675
Papirkvalitet: Tryk:	Cyclus Print Silkeborg Bogtryk EMAS Reg.nr., DK-S-0084
Sideantal: Oplag:	42 100
Pris: Købes hos:	50 kr. (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse) Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsøvej 25 Postboks 314 DK-8600 Silkeborg Tlf.: 89 20 14 00 Fax: 89 20 14 14

# Indhold

## Forord 5

### 1 Indledning 7

### 2 Sammendrag 9

2.1 Afstrømning 9

2.2 Vandføringen i dræn/drænvandsmængder 9

2.3 Makroporeflow 9

2.4 Drænafstrømningens betydning for vandløbets vandføring 9

2.5 Sprøjtetidspunktets betydning 10

2.6 Betydning af temperaturen 10

2.7 Sprøjtepraksis 10

2.8 Konsekvenser ved ændret dyrkningspraksis 11

### 3 Konklusioner 13

### 4 Vurdering af drænafstrømningens størrelse, fordeling og betydning i Danmark 15

4.1 Formål 15

4.2 Datagrundlag 15

4.3 Nettonedbør og afstrømning fra den umættede zone 18

4.4 Opholds- og responstider for afstrømning fra den umættede zone 23

4.5 Drænafstrømningens betydning for vandføringen i vandløbet 25

4.6 Landsdækkende vurdering af drænafstrømningen 27

4.7 Konklusion 27

### 5 Sprøjtetidspunktets indflydelse på forekomsten i overfladevand 29

5.1 Baggrund 29

5.2 Metode 29

5.3 Resultat 29

### 6 Reference 35

## Bilag A 37



## Forord

Rapporten har til formål at belyse konsekvenserne af et forbud mod pesticidbehandlinger i vinterhalvåret for forurening af vandløb via drænvand.

Rapporten indeholder kapitlerne *“Vurdering af drænafstrømningens størrelse, fordeling og betydning i Danmark”* og *“Sprøjtetidspunktets indflydelse på forekomsten af pesticider i overfladevand”*, som er en sammenstilling af data, der ikke tidligere er udført. Vurderinger af sprøjtepraksis og konsekvenser af ændret dyrkningspraksis er baseret på oplysninger fra Per Kudsk, Danmarks Jordbrugsforskning (Udkast til rapport vedrørende *“Jordbrugsmæssige konsekvenser af forbud mod efterårs- og vintersprøjtning i landbruget”*).



# 1 Indledning

Forbud mod pesticidbehandlinger i vinterhalvåret er blevet nævnt som en måde, hvormed forurening af grundvandet kan mindskes. Begrundelsen er dels at vandbalancen for denne årstid er positiv, således at der sker en nedsivning til grundvandet, dels at pesticiderne nedbrydes langsommere ved lave jordtemperaturer.

Som følge af overskudsnedbøren i vinterhalvåret er der også en større afstrømning af drænvand til vandløb i denne periode end i sommerperioden. Sammenholdt med den mindre nedbrydningshastighed om vinteren, kan man tilsvarende grundvandet forvente en øget tilførsel af pesticidrester til vandløbene.

Et forbud mod sprøjtninger i vinterhalvåret vil have konsekvenser for jordbruget, idet der i visse afgrøder foretages en betydelig ukrudtsbekæmpelse med herbicider forår og efterår. Et forbud fra oktober til og med marts, vil i nogle afgrøder medføre et øget forbrug af pesticider i september og april og således ikke en reduktion i det samlede forbrug. I det omfang en sådan flytning af behandlinger kræver større doseringer for at opnå den samme effektivitet, må man forvente en forøgelse af forbruget.

I forbindelse med udarbejdelsen af den nye pesticidhandlingsplan vurderes virkemidler til at reducere miljøbelastningen fra pesticidanvendelsen.

Et forbud mod pesticidanvendelse i vinterhalvåret er et af de potentielle virkemidler der har været foreslået til beskyttelse af grund- og overfladevand. Der gennemføres følgende tre delvurderinger af konsekvenserne af et forbud mod pesticidbehandlinger i vinterhalvåret:

1. forurening af grundvandet (GEUS)
2. forurening af vandløb gennem drænvand (DMU)
3. jordbrugsdyrkningen (DJF)

Det foreslås, at forbudet mod pesticidanvendelse dækker perioden 1. oktober til 1. april.

Nærværende projekt omhandler alene 2) afstrømning fra den umættede zone, herunder primært drænvandet.

Vurderingen er foretaget for pesticider som helhed uden inddragelse af specifikke egenskaber, da brugen af aktivstoffer veksler fra år til år. De p.t. godkendte aktivstoffer antages alle at være vurderet til ikke at frembyde en væsentlig risiko for udvaskning og/eller afstrømning. Der er imidlertid risiko for transport af partikelbundne stoffer og af stoffer som udbringes under ekstreme temperatur- og nedbørsforhold, f.eks. i tørre perioder, som efterfølges af kraftig nedbør. Konklusionerne i denne rapport gælder således den generelle pesticidanvendelse, idet nedvaskningen/afstrømningen på en given lokalitet vil kunne variere med de faktisk anvendte stoffers mobilitet.





## 2 Sammendrag

### 2.1 Afstrømning

Afstrømningsforholdene er forskellige i oplande domineret af hhv. lerjorder og sandjorder. På sandjorder udgør det drænedede areal en mindre del af det dyrkede areal, i gennemsnit omkring 10%. På lerjorder udgør det drænedede areal oftest mere end halvdelen, og i nogle tilfælde op til 80% af det dyrkede areal i oplandet. Tiden fra en nedbørshændelse finder sted til vandet begynder at løbe ud i vandløbet, responstiden, er generelt længere i sandjord end i lerjord. Pesticidernes opholdstid i jorden er afgørende for, hvor meget de nedbrydes, inden de når overfladevandet eller grundvandet. Alt andet lige vil sandjorder derfor udgøre en mindre risiko for forurening af overfladevand.

### 2.2 Vandføringen i dræn/drænvandsmængder

Størstedelen af drænvandsafstrømningen foregår fra september til april. Det er således almindeligt, at der kan forekomme betydelig afstrømning fra den umættede zone også i månederne, der afgrænser den foreslåede forbudsperiode. Ligeledes kan ekstreme hændelser i form af kraftig nedbør efter tørkeperioder medføre drænastrømning i sommerperioden.

### 2.3 Makroporeflow

I lerjorde findes sprækker, hulrum og kanaler, der kan give anledning til makroporeafstrømning. Makroporerne er størst efter tørre perioder og derfor mest omfattende om sommeren. Makroporeafstrømningen foregår hurtigt og er kraftigst umiddelbart efter en nedbørshændelse. Den kan udgøre en betydelig del af den samlede afstrømning i et opland og kan give anledning til hurtig afstrømning (ned til 1 times opholdstid) til vandløb også fra ikke-drænedede arealer.

### 2.4 Drænastrømningens betydning for vandløbets vandføring

På grund af dræningsintensiteten betyder drænvandet mest for afstrømningen i vandløb i lerjordsoplande, hvor det i perioder kan udgøre op til 100% af afstrømningen. Kraftige nedbørshændelser i sommertiden kan resultere i anseelige pulser ned gennem transportvejene til vandløbet. I forhold til miljøbeskyttelse er det væsentligt at vurdere, hvor hyppigt sådanne hændelser finder sted. Normalt vil der forekomme mindst et døgn pr. måned i perioden juni til september, hvor der falder mere end 50 mm nettonedbør. Sådanne nedbørshændelser resulterer i en afstrømning, der ofte udgør mere end 50% og til tider op til 100% af afstrømningen i vandløb på lerjorde. I

mindre oplande er nedbørens opholdstid i jorden ofte kun 1 – 10 timer.

## 2.5 Sprøjtetidspunktets betydning

Spørgsmålet om, i hvilket omfang pesticidbehandlinger i vinterperioden forurener overfladevandet mere end i sommerperioden besvares til dels af en undersøgelse af sprøjtetidspunktets indflydelse på forekomsten af pesticider i overfladevand. Analysen er baseret på et sydsvensk datasæt fra et landbrugsområde beliggende på en kalkrig moræne og med temperatur- og nedbørsforhold, der meget ligner de danske. Det kan ikke konkluderes af denne undersøgelse, at der er en signifikant øget forekomst af pesticider i overfladevand som resultat af efterårsprøjtning i forhold til forårs-/sommerudsprøjtning.

Udbringningstidspunktet har således ikke i dette datamateriale kunnet påvises at have nogen betydning for forekomsten af de forskellige pesticider i overfladevand. Det skal dog nævnes, at der i undersøgelsen indgår relativt få stoffer, der fortrinsvis udbringes om efteråret, hvilket svækker analysens statistiske styrke. Derfor er det ligeledes uvist, om et forbud vil medføre en fordel eller en ulempe for vandløbene, som formentlig er mest følsomme for pesticider i sommerhalvåret, hvor vandføringen er mindst og den biologiske aktivitet størst. Dette medfører en relativt højere koncentration i vandløbet på et tidspunkt, hvor også koncentrationen af andre påvirkende stoffer kan være høje, hvor vandtemperaturen er høj og iltniveauet lavt, alle forhold der kan "stresse" plante- og dyrelivet i vandløb. Hertil kommer problemstillingen om, hvorvidt en lav koncentration i lang tid (vintersituationen) er værre eller bedre end episoder med kortvarige høje koncentrationer (sommersituationen). Forekomsten af pesticider i vandløb kan være undervurderet, måske især i vinterperioden, i de tilfælde hvor koncentrationen af de enkelte pesticider er under detektionsgrænsen. Betydningen heraf afhænger af om stoffet har biologisk effekt ved så lave koncentrationer, alene eller i blanding med andre stoffer. Akkumulering af pesticider i økosystemet antages almindeligvis ikke at være sandsynligt for moderne pesticider.

## 2.6 Betydning af temperaturen

De lave temperaturer om vinteren bevirker, at nedbrydningen af pesticider forløber langsommere end om sommeren. Om sommeren er jorden til gengæld ofte tør, hvilket kan reducere nedbrydningshastigheden væsentligt. I gennemsnit kan nedbrydningen om sommeren derfor ikke forventes at være lige så hurtig som i forsøg, hvor forholdene er meget gunstige for de nedbrydende mikroorganismer.

## 2.7 Sprøjtepraksis

Betydningen af et forbud mod sprøjtning i vinterhalvåret kan opgøres på flere måder og under forskellige forudsætninger. Forbruget i efteråret er for en stor del placeret i oktober. Hvis det forudsættes, at forbruget i oktober ophører og overføres til september, således at det

samlede forbrug pr. år er uændret, vil den samlede mængde af pesticider, der passerer vandløbene pr. år næppe ændres væsentligt. I perioden 1989 til 1998 var nedbøren betydeligt større i september end i oktober. Betragtes drænvandsafstrømningen fra overvågningsoplandene 1 og 4 (se afsnit 4) i periode 1989-97, var den ligeledes større i september, hvilket antyder en øget risiko for udvaskning af pesticider i september. Dette modvirkes af, at den nedbør, der optages i jordvandsmagasinet, har en længere opholdstid ved højere temperaturer i september og pesticidrester nedbrydes dermed i højere grad inden de når vandløbene. Imidlertid er risikoen for en hurtig afstrømning via makroporer stor i september, ligesom drænafstrømningen jævnlige udgør en stor andel af den samlede vandføring. Det gælder særligt på lerjorder. Det medfører en risiko for højere koncentrationer i vandløbene og dermed større sandsynlighed for effekter på vandløbets organismer. En gennemsnitlig opholdstid for nedbøren i hhv. september og oktober kan ikke beregnes for nærværende. Analyserne i afsnit 6 vedrørende drænvandsafstrømning indikerer imidlertid, at opholdstiden er lavere i september end i oktober, hvis der er tale om makropore-flow og kortvarige afstrømningsbegivenheder i lerede oplande. Derimod er opholdstiden større i september end i oktober, hvis der er tale om nedbør, der primært øger jordfugtigheden.

## 2.8 Konsekvenser ved ændret dyrkningspraksis

Et sprøjteforbud fra 1. oktober til 1. april medfører ændringer i sprøjtepraksis og den mængde af sprøjtemidler, der anvendes. For dyrkning af vintersæd medfører et forbud, at herbicidforbruget flyttes til september og øges for at opnå den tilsigtede virkning, hvilket af flere årsager kan være u hensigtsmæssigt:

I september forekommer oftere episoder med hurtig afstrømning fra landbrugsområder til vandløb enten ved overfladeafstrømning eller via makroporeflow og dræn. En koncentreret af forbruget i sidste halvdel af september kan derfor medføre en øget pesticidbelastning i vandløbene. Dertil kommer, at vandløbenes plante- og dyreliv formentlig er mere følsomme for herbicider i september, hvor mange organismer alt andet lige er mere aktive end i de efterfølgende måneder.

Brugen af bladmidler vil blive flyttet fra efteråret til foråret (april-maj) med en stigning i forbruget på 15 – 25% (Kudsk 1999, "Jordbrugsmæssige konsekvenser af forbud mod efterårs- og vintersprøjtning i landbruget") med den konsekvens, at afstrømningsepisoder i denne periode vil blive mere kritiske for recipienten.

For dyrkning af vinterraps vil ovennævnte forbud medføre fordele for vandmiljøet, fordi anvendelse af kemisk ukrudtsbekæmpelse i stor udstrækning vil blive erstattet af mekanisk ukrudtsbekæmpelse, hvorfor den anvendte pesticidmængde formindskes.

For nogle af de øvrige afgrødetyper vil den væsentligste effekt ved et forbud være, at de bliver mindre attraktive at dyrke og der dermed vil ske et afgrødeskifte af ukendt omfang. Det er derfor ikke muligt at

forudsige, om forbruget af pesticider bliver forøget, vil være uændret eller vil blive nedsat.

Hvis pesticidforbruget i september og april øges ved begrænsning af sprøjtesæsonen, må det forventes, at såvel overfladevand som jordvand tilføres mere pesticid i disse måneder.

Det kan endvidere tænkes, at sprøjtepraksis ændres, idet bedriftslederne i højere grad vil sprøjte uden at tage hensyn til det ideelle sprøjtevejr. Dette vil kunne øge den anvendte mængde sprøjtemidler og øge risikoen for forurening af vandmiljøet, hvis der kommer kraftige nedbørshændelser umiddelbart efter sprøjtningen.

### 3 Konklusioner

Med det vidensgrundlag vi har, er det vanskeligt at konkludere entydigt, om et forbud mod sprøjtning i vinterhalvåret (1. oktober til 1. april) vil reducere miljøbelastningen af overfladevand.

Følgende forhold tyder på, at det kan være en miljømæssig ulempe for vandmiljøets flora og fauna at forbyde sprøjtning i vinterhalvåret:

- Pesticidforbruget flyttes til perioder, der er mere risikable med hensyn til udvaskning til vandløbene.
- Riskoen for pesticidudvaskning til vandløbene stiger i en periode hvor vandføringen i vandløbene er mindre, hvilket resulterer i højere koncentrationer i vandløbene i en periode hvor vandløbsorganismene kan være mere følsomme.
- Der er risiko for at pesticidforbruget forøges, for eksempel i vintersæd, for at opnå samme effekt som ved den nuværende praksis.

Til fordel for et forbud taler at:

Den kemiske ukrudtsbekæmpelse i vinterraps vil i høj grad blive erstattet med mekanisk bekæmpelse.

Følgende områder er præget af en usikkerhed, som gør det vanskeligt at konkludere entydigt:

- Det er muligt, at en del af de pesticider, der transporteres til overfladevandmiljøet i vinterhalvåret forekommer i koncentrationer, der ligger under detektionsgrænsen, således at målingerne undervurderer tilførslen i vinterhalvåret. Dette har kun betydning for de stoffer der har effekt ved så lave koncentrationer, alene eller i blandinger.
- Effekten af de ændrede eksponeringsforhold, der vil indtræde som følge af, at pesticidforbruget flyttes fra oktober til september og/eller april måned, er ikke kendt.
- Det kan tænkes, at der i et vist omfang vil ske en ændring i anvendelsesmønsteret for pesticider som følge af ændret arealanvendelse og anvendelse af andre midler.

DMU vurderer, at med den nuværende viden og med den usikkerhed, der indgår i de eksisterende undersøgelser, er der ikke tilstrækkelig grundlag for at konkludere, at et forbud mod sprøjtning i vinterhalvåret vil medføre en mindsket belastning af flora og fauna i det vandløb og søer.



## 4 Vurdering af drænafstrømningens størrelse, fordeling og betydning i Danmark

### 4.1 Formål

For at forbedre jordens evne til transportere vand væk fra dyrkede arealer er store dele af det danske åbne land blevet drænet gennem de sidste 150 år. Dræningsintensiteten er højest på de lerede jorde, der har de største afvandingsproblemer. Lerede jorder har typisk problemer med at den overskydende nedbør ikke kan afledes grundet lav vandledningsevne i den umættede zone. Sandede jorder er drænet i mindre omfang end de lerede jorder, og her er dræningen primært foretaget i lavbundsområder, der typisk afleder vand fra det øvre grundvandsmagasin. (Mielby et al. 1994)

Formålet med denne udredning er:

- At give et groft skøn på hvor stor en del af vandet i den umættede zone, der afstrømmer gennem velfungerende dræn til vandløb for nogle hovedjordtyper
- Overordnet at redegøre for opholds- og responstider for drænvandet i vinter- og sommerperioden
- At foretage en vurdering af drænafstrømningens betydning for afstrømningen i vandløbet på forskellige tidspunkter af året, og i denne sammenhæng opstille en grov sammenhæng mellem netto-nedbør og afstrømning fra den umættede zone
- At give en grov vurdering af den landsdækkende drænafstrømning.

### 4.2 Datagrundlag

#### Drænvandsmålinger

Datagrundlaget for opgørelsen af drænvandsafstrømningen i Danmark og dens betydning for vandløbsafstrømningen er primært baseret på resultater fra drænstationer i tre mindre oplande under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for små landbrugsoplande (kaldet Landovervågningsoplande eller LOOP oplande)(Grant et al. 1999):

- Højvadsrende (LOOP 1) i Storstrøms Amt
- Lillebæk (LOOP 4) på Fyn
- Odderbæk (LOOP 2) i Nordjyllands Amt



To oplande (LOOP 1 og 4) har overvejende leret jordbund, medens det tredje opland (LOOP 2) har sandet jordbund. LOOP 1 og 4 repræsenterer drænedede oplande med leret jordbund. Oplandene har en høj detail-dræning, dvs. afdræningen sker primært fra den umættede zone. Odderbæk (LOOP 2) repræsenterer oplande med dræning af lavtliggende vandløbsnære arealer med direkte kontakt til den øvre del af grundvandet. Denne oplandstype findes typisk på sandede jorde.

Drænstationerne har været i drift siden 1989. Der måles på 6 drænstationer i LOOP 1, 4 stationer i LOOP 4 og 1 station i LOOP 2. Der foretages kontinuert måling af drænvandsafstrømningen. I nærværende opgørelse er anvendt drænastrømning opgjort på månedsbasis. Nedenfor er givet en beskrivelse af de tre LOOP oplande, der indgår i analysen.

#### **Højvadsrende (LOOP 1)**

Oplandet udgør ca. 980 ha. Den nordøstlige del er præget af et bakket terræn med mange lavninger og mosearealer, den vestlige del er svagt bakket, mens den sydlige del er karakteriseret ved et fladt landskab. De øvre jordlag består af moræneler og sandlag og herunder i 35-45 m's dybde findes skrivekridt. De dominerende jordtyper i oplandet er klassificeret som sandblandet ler (80%) og lerjorder (14%). Skov udgør 27% af oplandsarealet, resten er i landbrugsmæssig drift. Ca. 80% af landbrugsarealet er drænet.

#### **Odderbæk (LOOP 2)**

Oplandet udgør ca. 1.140 ha. Den nordlige og vestlige del er karakteriseret ved et småbakket terræn, mod øst er landskabet svagt kuperet, og i den sydlige del er terrænet markant fladt. Jordlagene består af vekslende ler og sandlag til stor dybde. I den øverste meter findes overvejende sand. De dominerende jordtyper i oplandet er klassificeret som grovsandet jord (72%) og finsandet jord (17%). Skov udgør ca. 2% af oplandsarealet, omtrent resten er i landbrugsmæssig drift. Drænet areal ca. 12% (skønnet).

#### **Lillebæk (LOOP 4)**

Oplandet udgør ca. 470 ha. Det fremtræder som et svagt skrånende terræn ned mod Storebælt. Jordlagene består overvejende af moræneler med indslag af smeltevandssand og ler. I de dybere jordlag findes et sammenhængende sandlag. De dominerende jordtyper i oplandet er klassificeret som sandblandet ler (86%) og lerblandet sand (4%). Skov udgør 2% af oplandsarealet, 89% anvendes til intensiv landbrugsdrift, og 9% af arealet er veje, byer m.v. Ca. 50% af landbrugsarealet er drænet.

#### **Gelbæk**

Intensive målinger fra et drænopland i Gelbæk oplandet fra en tre-årig periode indgår som supplement til LOOP-oplandene bl.a. til vurdering af respons-/opholdstider for drænsystemerne. Oplandet

har et areal på 11,2 km<sup>2</sup>, hvoraf 85% er dyrket. Jordbunden består primært af lerblandet sand og sandblandet ler (Grant et al. 1996).

### Modelberegning af vandafstrømning

Til vurdering af afstrømningen fra den umættede zone indgår desuden data og hydrologisk modellering fra de 3 LOOP oplande samt fra yderligere 22 mindre oplande fordelt på forskellige jordtyper (grovsand til fint ler) over hele landet. Oplandsarealerne varierer mellem 2 km<sup>2</sup> og 20 km<sup>2</sup> og det dyrkede areal udgør mellem 48% og 87% i oplandene. Resultaterne fra denne modellering findes som daglige afstrømningsværdier og er i nærværende opgørelse præsenteret på månedsbasis for hhv. hurtig afstrømning, afstrømning fra den umættede zone og grundvandsafstrømning. Den hydrologiske modellering er foretaget med en nedbør-afstrømningsmodel (NAM-modellen), der på baggrund af nedbør og fordampningsdata samt viden om de fysiske forhold, kan opdele afstrømningen i tre afstrømningskomponenter (DHI 1998):

- Hurtig afstrømning (dræn og makroporer samt evt. overfladisk afstrømning)
- Intermediær afstrømning (afstrømning i/fra den umættede zone som matrix afstrømning)
- Grundvandsafstrømning (afstrømning fra den mættede zone).

Til vurdering af nettonedbørens størrelse er anvendt klimadata fra det landsdækkende klimagrid på døgnbasis (Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og Dansk JordbrugsForskning). For både LOOP-oplandene og den hydrologiske modellering gælder, at der til alle beregninger er anvendt perioden 1989 til 1997.

Analysen af afstrømning fra den umættede zone herunder drænvandsafstrømningen er foretaget for mindre oplande og dermed i mindre vandløb af flere årsager:

1. datagrundlaget findes primært for små oplande
2. små oplande består typisk af 1. og 2. ordens vandløb med kort afstand fra opland til en given vandløbsstation. Drænvand og andet vand fra den umættede zone kan derfor nå vandløb relativt hurtigt. Endvidere vil jordbundstypen typisk være mere homogen end i store oplande
3. vand fra den umættede zone herunder drænvand udgør typisk en større andel af vandløbsafstrømningen end i større oplande. Herved øges betydningen af den kemiske sammensætning af dette vand væsentligt i forhold til den samlede kemiske sammensætning, set i forhold til større oplande
4. afstrømningen et givent sted i et stort vandløb består af summen af afstrømningen fra mange små oplande opstrøms, og vandet har derfor været ulige lang tid undervejs sammenlignet med et lille vandløb, hvor oplandet er af begrænset størrelse. Vandet i større

vandløb vil derfor stamme fra mange forskellige nedbørsbegivenheder, jordtyper etc.

5. små vandløb har ofte en smal vandløbsnær zone omkring sig, og der er ofte dyrket helt nær til vandløbsbræmmen. Der er derfor kun ringe muligheder for at overfladevand og vand fra den umættede zone tilbageholdes/forsinkes før det når små vandløb sammenlignet med store vandløb
6. miljøtilstanden i mange mindre danske vandløb er dårlig grundet forarmede fysiske forhold (pga. udretning, hårdhændet vedligeholdelse mv.), påvirkning fra spildevand fra spredt bebyggelse og evt. dambrug, vandindvinding mv. og vil specielt i perioder med lav afstrømning og høje vandtemperaturer og lavt iltindhold (typisk juli - september) være særligt følsomme for andre kemiske påvirkninger som f.eks. pesticider.

Betydningen og påvirkningen af afstrømningen fra den umættede zone vil derfor normalt være størst i små vandløb og årsagssammenhæng mellem et stofs tilstedeværelse i vandløbet og kilden til stoffet i disse vandløb vil derfor nemmere kunne identificeres.

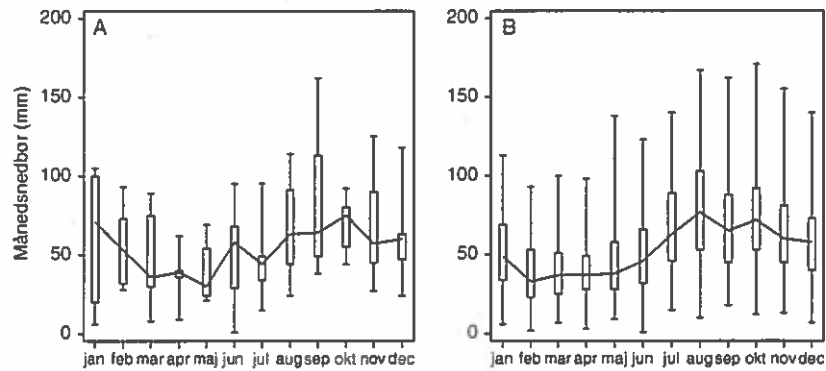
### 4.3 Nettonedbør og afstrømning fra den umættede zone

Når nedbøren overstiger fordampningen vil nettonedbøren infiltrere i jorden (eller evt. også løbe af på jordoverfladen). En del af den infiltrerede nettonedbør vil sive så langt ned, at den når grundvandsspejlet og bliver til grundvand, medens resten vil afstrømme via den umættede zone gennem dræn, makroporer mv. Størrelsen af denne afstrømning afhænger af oplandets geologi, jordtype, dræningsintensitet, årstiden samt størrelsen af den overskydende nedbørsmængde.

#### Nedbørsfordeling i perioden 1989-97 i forhold til normalperioden 1874-1998

Den valgte periodes repræsentativitet er undersøgt ved at se på månedsnedbørens fordeling i perioden 1989-97 i forhold til den tilsvarende lange tidsserie 1874 til 1998. I nedenstående Figur 4.1 er vist Box-Whisker plot af de to tidsserier. Et Box-Whisker plot læses på følgende måde:

- medianværdierne (også kaldet 50% fraktilen, svarende til halvdelen af månederne) for nedbøren er forbundet med rette linier
- for hver måned er angivet 25% og 75% fraktilerne (svarende til boksens areal). Inden for boksens areal falder 50% af samtlige observationer
- den højeste og laveste måneds værdi i perioden er angivet som vandrette streger.



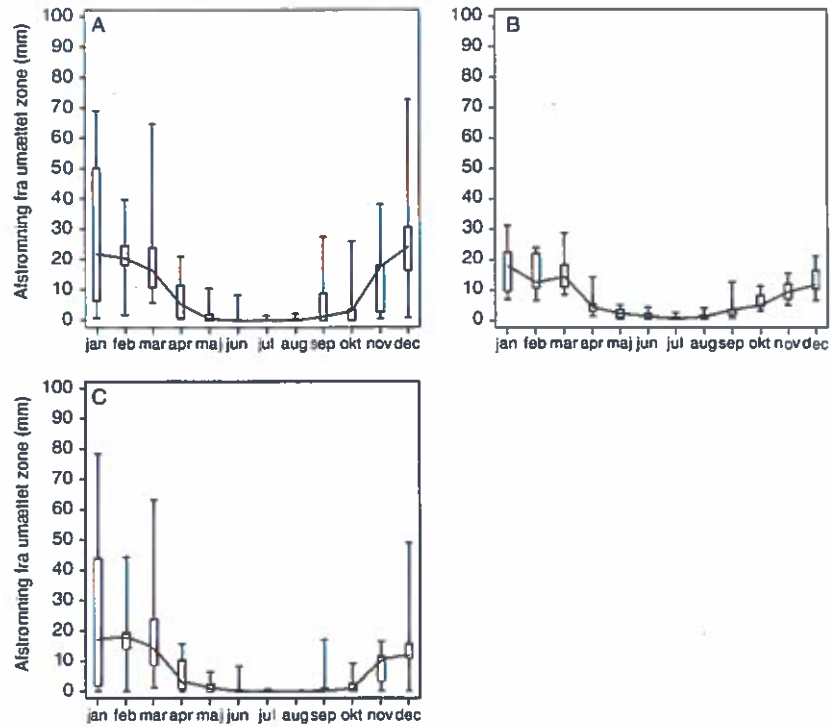
Figur 4.1. Box-Whisker plot af nedbørsfordelingen i perioden 1989-97(A), samt i normalperioden 1874 til 1998 (B).

Det fremgår, at perioden 1989-97 i median har en god overensstemmelse med de normale forhold i perioden 1874-1998. Der har desuden været ekstremt høje og lave værdier, der i mange tilfælde svarer til rekorderne for hele perioden 1874-98, hvorfor datamaterialet for 1989-97 dækker over så store variationer fra år til år og indenfor årene, at det overordnet dækker den nedbørsvariation, der har været i Danmark siden 1874.

#### Modelberegnet afstrømning fra umættet zone og målt drænvandsafstrømning – variation over året

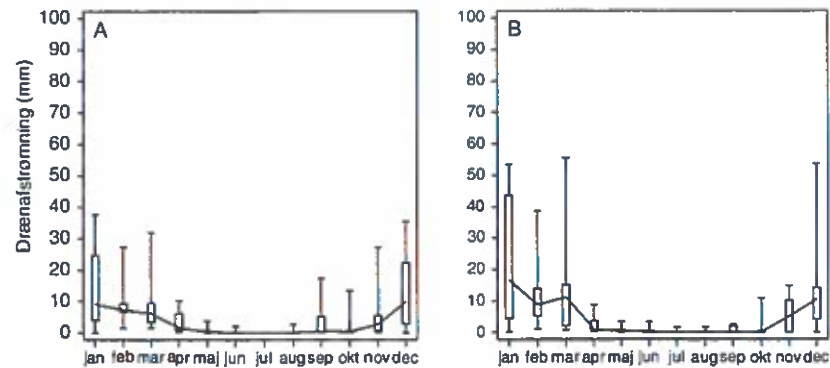
På baggrund af den hydrologiske modellering i de tre LOOP-oplande er der opstillet månedsfordelinger af afstrømningen fra den umættede zone (inklusive drænafstrømning og evt. overfladisk afstrømning) hen over året for perioden 1989-97 (Figur 4.2).

I alle tre oplande ses en tydelig årstidsvariation. Afstrømningen fra den umættede zone er størst i perioden oktober til april. I sommerperioden maj til august er afstrømningen fra den umættede zone mindst. I september måned kan der forekomme relativt store månedsafstrømninger. Denne måned må betegnes som en overgangsmåned. Afstrømningen fra den umættede zone i de to lerede oplande ophører i en kortere eller længere periode i løbet af sommeren, mens afstrømningen fra det sandede opland (LOOP 2) typisk fortsætter gennem hele sommeren. Dette skyldes, at der er kontakt til det øvre grundvandsmagasin gennem de lavtliggende vandløbsnære arealer i det sandede opland. En sammenligning med tilsvarende opgørelser for de øvrige 22 oplande, der er modelleret på, giver samme tendens. Afstrømningen fra den umættede zone udviser stor variation over året og er i oplande med lerede jorde typisk forsvindende lille i løbet af sommeren, medens afstrømning fra den umættede zone fortsætter gennem hele sommeren i oplande med sandede jorde.



Figur 4.2. Fordeling af umættet afstrømning over året (Box-Whisker plot) – LOOP 1 (A), LOOP 2 (B) og LOOP 4(C).

Det modellerede afstrømningsforløb fra umættet zone understøttes af de faktiske drænvandsmålinger for de to lerede LOOP oplande, som vist i Figur 4.3.



Figur 4.3. Fordeling af den målte drænvandsafstrømning, LOOP 1(A) og LOOP 4 (B) (Box-Whisker plot).

Beregninger med den hydrologiske model, samt LOOP overvågningsprogrammet viser at, 70% af afstrømningen gennem den umættede zone kan foregå som drænastrømning i de lerede oplande (LOOP 1 og 4). Andelen af drænastrømning i afstrømningen fra den umættede zone i lerede oplande på månedsplan varierer mellem 0% og 100% uden nogen systematik. Dette skyldes blandt andet, at hydrologien i oplandet ikke er en statisk parameter, men en funktion af den forudgående periodes hydrologiske forhold. I det sandede opland (LOOP 2) påvirkes afstrømningen fra den umættede zone af tilstrømning fra det øvre grundvand. Da arealet af området, hvori dette dannes, er særdeles svært at fastlægge, er en tilsvarende betragtning ikke mulig for dette opland.

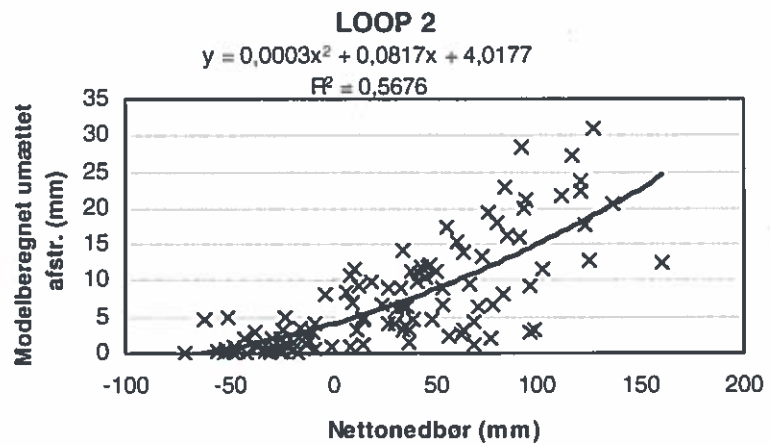
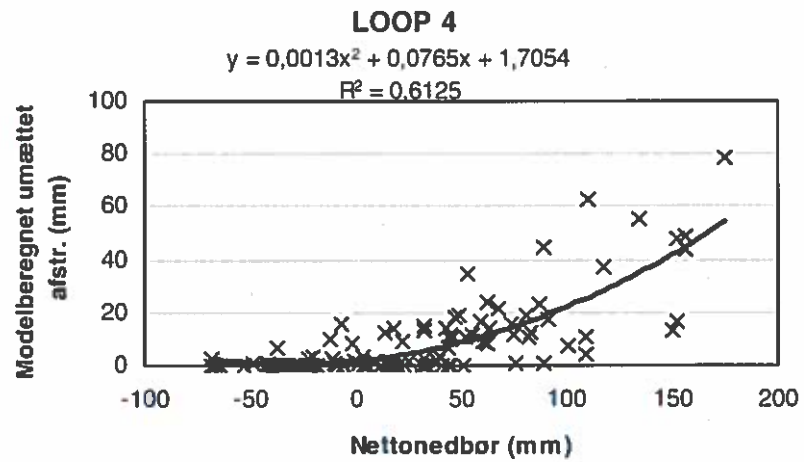
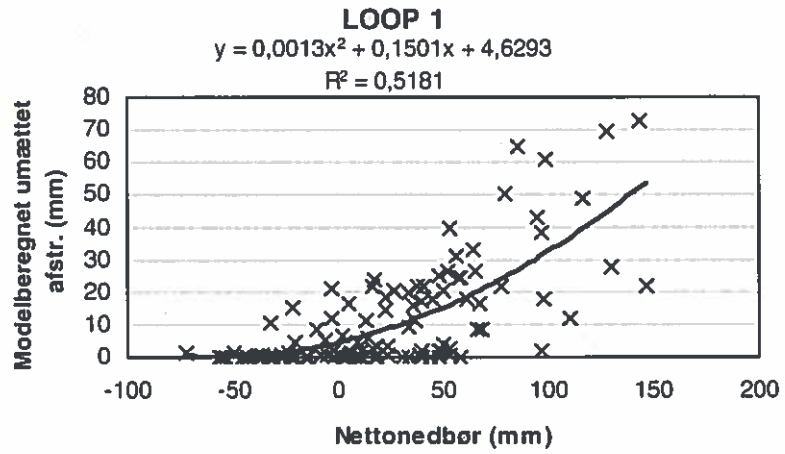
### Modelberegnet afstrømning fra umættet zone – relation til overskudsnedbør

I Figur 4.4 er vist den modelberegnete afstrømning fra umættet zone på månedsbasis som funktion af overskudsnedbøren. Det ses, at afstrømningen ved positivt nedbørsoverskud stiger med stigende overskud. Sammenhængen er beskrevet ved et polynomisk udtryk (2.grads ligning). I perioder med negativ nettonedbør (dvs. hvor fordampningen er større end nedbøren), som typisk forekomme fra maj til august, kan der forekomme afstrømning fra den umættede zone. Dette kan skyldes flere faktorer:

- der er i denne opgørelse tale om månedsværdier, så der kan godt være dage med positiv nettonedbør, og dage hvor der gennem makroporer kan forekomme afstrømning til dræn og vandløbet, selv om månedens nettonedbør er negativ
- nettonedbøren har en vis opholdstid i jorden inden den afstrømmer gennem dræn og videre ud til vandløbet.

I sommerperioden (maj – august) forekommer der typisk negativ nettonedbør, som følge af små nedbørsmængder og høj fordampning. I denne periode vil der ved episoder (timer/dage) med kraftig nedbør, kunne forekomme drænastrømning via makroporestrømning.

Når den våde periode med positiv nettonedbør begynder, vil en del af den overskydende nettonedbør i starten af perioden gå til at øge jordfugtigheden/jordvandsmagasinet, mens en anden del af denne overskydende nedbørsmængde vil kunne nå dræn via makroporestrømning. Der kan altså ske både opbygning af jordvandsmagasinet og drænastrømning samtidig i tilknytning til kraftig nedbør. I foråret er der en høj jordfugtighed og der vil trods perioder med negativ nettonedbør være afstrømning fra den umættede zone.



Figur 4.4. Sammenhæng mellem nettonedbør og modelberegnet afstrømning fra umættet zone, LOOP 1, LOOP 4 og LOOP 2.

## 4.4 Opholds- og responstider for afstrømning fra den umættede zone

### Respons- og opholdstider

På baggrund af den hydrologiske modellering i 25 mindre oplande, samt undersøgelser af responstider i to drænoplande i Gelbæk oplandet (Grant et al. 1996), kan der opstilles intervaller for hvor lang tid der går før drænafstrømningen reagerer på en nedbørshændelse (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Responstider for drænafstrømningen/umætte afstrømning i 25 oplande.

Jordbund	Responsinterval (timer)	Makroporerrespons (timer)
Sand	30 - 1200	-
Lerblandet sand	10 - 800	1
Ler	10 - 800	1

Der skelnes mellem responstid og opholdstid. Ved responstid forstås den tid der går fra nedbøren rammer jordoverfladen til der måles en ændring (forøgelse) i afstrømningen fra den umættede zone. Denne størrelse er ikke kun afhængig af jordens vandindhold, men også af nedbørens form (fast/flydende, lav/høj intensitet), dræningstilstand mv.

Ved opholdstid forstås man, hvor lang tid en given vandmængde opholder sig i jorden, dvs. tiden fra en vandmængde infiltrerer i jorden til den når f.eks. et vandløb. Denne størrelse afhænger ligeledes af jordens vandindhold.

Da respons- og opholdstider blandt andet afhænger af jordens vandindhold vil disse størrelser variere i løbet af året. Om sommeren vil der i en del tilfælde kunne falde store mængder nedbør uden af drænene begynder at løbe, medens den samme mængde nedbør i vinterperioden vil give anledning til store mængder drænvandsafstrømning. I vinterperioden, hvor grundvandsspejlet ligger højt og jordfugtigheden også er høj i den umættede zone er responstiden typisk relativt lav. Er der veludviklede makroporer i jorden og disse når dræn eller vandløb, kan responstiden også være lav om sommeren. Som det fremgår af Tabel 4.1 kan responstiden være ned til 1 time ved makroporeflow, og sker dette om sommeren f.eks. i forbindelse med en tordenbyge, vil opholdstiden kunne være af samme størrelsesorden som responstiden. Når jorden er vandmættet eller næsten vandmættet vil ekstra nedbør betyde, at det vand, der når vandløb, er blevet skubbet/trykket ud af den nye ekstra nedbør og derfor kan have opholdt sig i jorden et stykke tid. I en sommerperiode vil vand fra makroporer og dræn, der afstrømmer i forbindelse med nedbørshændelser, ikke kun være trykket ud, men også være en del af netto-nedbøren, der strømmer direkte igennem makroporer o.l. og derfor også giver de lave responstider i Tabel 4.1.

Opholdstiden for vandet i den umættede zone er svært at beskrive nøjagtigt, idet vandet herfra dels består af nyt vand, der efter en nedbørshændelse afstrømmer direkte gennem jorden, dels består af æl-



dre vand, der trykkes ud som følge af ny tilførsel af vand under hændelsen. Alt vand der afstrømmer gennem dræn og gennem den umættede zone på lerede jorder, vil kunne antages at være fra samme sæson. På sandede jorder kan der være sket en opblanding med grundvand med en langt højere alder (op til flere år ældre).

I de 25 undersøgte oplande viser modelberegninger at, responstiden i lerede oplande jævnlige er under en dag, men kan være op til godt en måned, hvis jorden har været helt udtørret og der ikke forekommer makropore-flow.

Analysen af nedbørsfordelingen og den målte drænvandsafstrømning i de to lerede LOOP oplande samt i drænet i Gelbæk oplandet viser, at der efter en tør sommerperiode typisk er et underskud af vand i jorden i størrelsesordenen 50-150 mm. Dette underskud skal først udlignes, før der kan foregå permanent drænafstrømning. Udligningen sker typisk igennem store nedbørsmængder i løbet af august og september. Samtidig kan der dog foregå makroporestrømning, der kan nå frem til dræn/vandløb i en kort periode og med en kort respons- og opholdstid.

### **Makroporestrømning i jord**

Som nævnt ovenfor forekommer en del af drænvandsafstrømningen som makroporestrømning. Dette skyldes, at der i strukturerede lerjorde findes makroporer i form af større hulrum, revner og sprækker, ormegange, rodkanaler m.v., hvis fysiske egenskaber afviger stærkt fra den omkringliggende jordmatrice. Når nedbørsintensiteten overstiger infiltrationshastigheden af jordmatricen, vil vandet transporteres langs væggene af makroporerne. Ved stadig tilførsel af vand vil makroporerne kunne transportere større vandmængder ned gennem jordens umættede zone til grundvandet eller drænene. Dette sker uden nogen væsentlig vandudveksling med selve jorden. Oftest sker nedsivning af vand på lerjorde som en kombination af matrixstrømning og makroporestrømning, hvor sidstnævnte dominerer i starten af regnvejrperioder.

Makroporestrømning til dræn forekommer momentant efter start af en regnvejrhændelse (indenfor en time) og er oftest klinget af i løbet af et døgn. Hvis jorden er meget udtørret kan den nærmest virke vandafvisende, hvorfor vandet ledes gennem makroporerne uden væsentlig udveksling mellem vand og jord eller jordopfugtning.

Makroporestrømning er især dominerende i perioden umiddelbart efter høst, dvs. i august-september, hvor jordoverfladen er eksponeret og jorden samtidig er udtørret og revner og sprækker derfor er mest udtalte. Makroporestrømning i forbindelse med nedbørshændelser forekommer dog også gennem hele afstrømningssæsonen, som oftest forløber til hen i april måned.

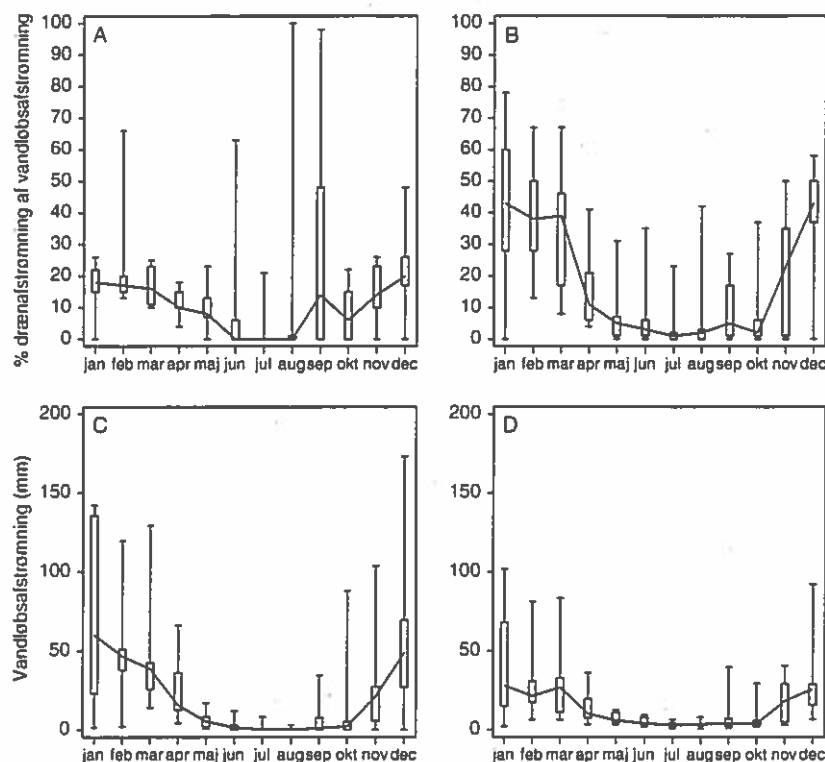
I en undersøgelse i Gelbæk-oplandet blev det i en to-årig måleperiode fundet at 29-37% af den totale drænvandsafstrømning forekom som makroporestrømning (Grant et al. 1997).

Makroporestrømning kan også foregå udenom dræn, og der vil således være risiko for hurtig makroporetilstrømning til vandløb i lerede jorde uden egentlig detaildræning.

#### 4.5 Drænafstrømningens betydning for vandføringen i vandløbet

I det følgende vurderes alene på drænafstrømningen fra oplandet. Drænafstrømningen udgør kun en (større) delmængde af afstrømningen fra den umættede zone jvf. afsnit 4.3. Der kan forekomme perioder (dage) med lav drænafstrømning, men hvor afstrømningen fra den umættede zone gennem matrixstrømning, makroporer og evt. overfladisk afstrømning alligevel er betydelig. På denne måde vil der kunne nå vand frem til vandløbet med nogenlunde samme kemiske sammensætning som drænafstrømningen blot via den umættede zone. Dette betyder, at den andel afstrømningen fra den umættede zone udgør af afstrømningen i vandløb kan være noget større end angivet i nedenstående figurer, hvor der kun er regnet med drænafstrømningen.

For de to lerede oplande er opgjort hvor stor en andel af den månedlige afstrømning til vandløbene, der stammer fra dræn. Dette er gjort for at vurdere drænafstrømningens påvirkning af vandløbet over året. En tilsvarende vurdering kunne ikke foretages for det sandede opland (LOOP 2), da drænsystemet her har kontakt med grundvandet, og dermed ikke præcist kan areal-relateres, hvilket betyder at det ikke kan gøres sammenligneligt med vandløbets afstrømning.



Figur 4.5. Drænafstrømning i procent af total afstrømning til vandløb samt målt vandløbsafstrømning - LOOP 1 (A & C) og LOOP 4 (B & D).

Drænaflowstrømningen udgør den største andel af afstrømningen i perioden oktober til april. I perioden maj til august er drænaflowstrømningens andel generelt beskeden på månedsplan, men i hele denne periode kan der være perioder (dage til måneder), hvor drænavandet udgør næsten hele afstrømningen i vandløb. Dette ses for specielt LOOP 1 men også LOOP 4 i august og især i september. I april måned kan drænavandsandelen af den samlede afstrømning også være ret stor. I denne måned er afstrømningen i vandløbene generelt højere end både i august og september, hvor afstrømningen i de undersøgte vandløb er lille. Bidraget fra resten af den umættede zone kan i disse perioder have samme størrelsesorden som drænavandet, således at det samlede bidrag fra den umættede zone bliver højere end indikeret i ovenstående figurer.

Afstrømningen fra dræn/umættet zone kan udgøre en stor del af afstrømningen i vandløbet som gennemsnit for måneden. Enkeltstående nedbørshændelser, f.eks. over et døgn kan dog give en stor drænaflowstrømning. For at vurdere betydningen af drænaflowstrømningen over kortere tidsperioder end en måned er der foretaget en vurdering af døgnafstrømningen under døgnmax. nedbørsbegivenheder, der er gennemsnit optræder 1 til 2 gange hvert år i hver af månederne juni til og med september. Den normale max. nedbørsmængde, der falder på et døgn (fratrullet fordampning) i perioden juni til september, er angivet i Tabel 4.2

Tabel 4.2. Normal døgn max. nettonedbør i perioden juni til september, som i gennemsnit vil optræder 1 til 2 gange pr. måned hvert år i Danmark. (DMI, Danmarks Klima 1998).

Måned	Juni	Juli	August	September
Nettonedbør mm/døgn	57	68	56	51

Sammenholdes disse nedbørsmaksima med sammenhængen mellem nettonedbør og afstrømningen fra den umættede zone i Figur 4.4 (for lerede oplande) findes en afstrømning herfra på ca. 15 mm. Af Figur 4.5 fremgår at dette udgør mindst 50% af den samlede afstrømning i vandløbet på en måned, dvs. at disse hændelser stort set kan udgøre hele vandføringen i vandløbet i en kortere periode. Det kan altså konkluderes, at der mindst én gang om måneden i perioden juni til september er mulighed for, at der indtræffer en nedbørshændelse, hvor afstrømning via dræn/umættet zone i en kortere periode (dage) udgør mellem 50% og 100% af hele afstrømningen i vandløbet. Under disse begivenheder vil vandet fra den umættede zone kunne have en respons og opholdstid på 1 til 10 timer.

Det skal bemærkes, at de absolutte maksimumsværdier for døgnnedbør ligger op til en faktor 3 højere end angivet i tabellen ovenfor, hvorfor der lejlighedsvist også vil kunne risikeres overfladisk afstrømning i den angivne periode, hvor også partikulært materiale føres til vandløbet. Endvidere er de angivne værdier gennemsnitsværdier for hele landet, så der er lokaliteter, der i gennemsnit hvert år har højere maksimale nettonedbørsværdier.

## 4.6 Landsdækkende vurdering af drænafstrømningen

Det er ikke muligt på baggrund af de umiddelbart tilgængelige informationer om dræninintensitet, drænenes funktion og hvor stor en del af afstrømningen i vandløb, der kommer fra dræn/umættede zone, at give et bud på drænafstrømningen fra forskellige jordtyper. Det vil kræve en detailviden om dræn, som ikke findes samlet i dag, og som vil kræve meget store ressourcer at tilvejebringe. Forfatterne har derfor i stedet valgt at anvende, hvad vi skønner er repræsentative oplande til at beskrive, hvordan forholdene er i karakteristiske små oplande. Dette vurderes at give en rimelig indikation for betydningen af drænafstrømningen/afstrømning fra den umættede zone for mindre vandløb, hvor betydningen og dermed eventuelle risici er størst.

De to lerede LOOP oplande, der er udvalgt til beskrivelse af drænafstrømningen er repræsentative for mindre lerede oplande ( $< 20 \text{ km}^2$ ). Det sandede opland (LOOP 2) er repræsentativt for mindre sandede oplande med drænsystemer på lavbundslande, der har kontakt til den øvre del af grundvandet. På lerede jorde vil vandløbssystemernes udseende med en mosaik af mange små vandløbsforgreninger, typisk opdele de større oplande i mindre enheder. De to LOOP oplande kan derfor bruges som typeoplande for op mod 60% af det danske areal, der består af lerede jorde. På baggrund af undersøgelser af dræningens omfang i Danmark er det skønnet at cirka 40-70% af det dyrkede areal på de lerede jorder er drænet (Kilde: Arealdatakontoret, Afvandingsundersøgelsen i Danmark, 1985).

Nedbørsoplandene på de sandede jorder er typisk større, grundet lavere vandløbstæthed (antal m vandløb pr.  $\text{km}^2$  opland), dvs. der vil være større respons og opholdstider og drænvandets andel vil være lavere end i lerjordoplande. De sandede jorder dækker ca. 30% af Danmarks areal. På baggrund af undersøgelser af dræningens omfang i Danmark er det skønnet at cirka 10% af det dyrkede areal på de sandede jorder er drænet (Kilde: Arealdatakontoret, Afvandingsundersøgelsen i Danmark, 1985).

## 4.7 Konklusion

Opgørelsen af drænafstrømningen/afstrømning fra den umættede zone er blevet foretaget på mindre oplande (typisk  $10 \text{ km}^2$ ). Betydningen af og påvirkningen fra afstrømningen fra den umættede zone vil typisk være størst i små vandløb, hvortil drænvand fra den umættede zone når hurtigt frem og kan udgøre en stor del af afstrømningen. I disse vandløb vil man lettest kunne finde en årsags-sammenhæng mellem et stofs tilstedeværelse og kilden til stoffet. Samtidigt er miljøtilstanden typisk dårligst i de små vandløb i Danmark og en mulig påvirkning fra f.eks. pesticider vil derfor kunne forventes at kunne findes i denne type vandløb specielt i sensommeren og efteråret, hvor der er lav vandføring, høje temperaturer, en mulig høj belastning med spildevand fra spredt bebyggelse og et evt. lavt iltindhold i vandet.

Følgende konklusioner uddrages på baggrund af de udførte analyser:

- den største del af drænaflowstrømningen/afstrømningen fra den umættede zone sker i vinterhalvåret (oktober til april), hvor denne afstrømning i mindre oplande som gennemsnit udgør 15-45% af den samlede afstrømning i vandløb
- drænaflowstrømningen kan i august og september udgøre en stor del af vandløbsafstrømningen, op til 100% selv på månedsplan. Medregnes vandet fra den umættede zone kan den samlede afstrømning fra den umættede zone også i andre måneder i sommerhalvåret udgøre en betydelig andel af vandløbsafstrømningen, som f.eks. april måned
- drænaflowstrømningen udgør i gennemsnit 70% af den samlede afstrømning fra den umættede zone, men med store variationer i løbet af året
- i sommerperioder kan afstrømning gennem makroporer udgøre op til 100% af afstrømningen i vandløbet (på dage med lav eller ingen vandføring og med store nedbørsmængder). På årsplan kan op til 37% af drænaflowstrømningen på lerjorde foregå som makroporetillstrømning. Ikke drænede lejor der vil også have makroporer, hvor noget vand fra den umættede zone kan nå frem til vandløb på ret kort tid
- responstiden for den umættede zone er typisk i størrelsesordenen 10 timer om vinteren og op til 800 timer i perioder med lavt jordvandsindhold. I august og september kan responstiden nedsættes til 1 time ved makroporestrømning til dræn. I sommerperioden vil responstiden være nogenlunde identisk med opholdstiden
- i perioden juni til september vil der i mindst et døgn hver måned forekomme en nedbørshændelse, som giver anledning til en afstrømning fra den umættede zone/drænaflowstrømning der udgør fra 50% eller op til næsten 100% af vandløbsafstrømningen i en kortere periode (typisk et par døgn).

Samlet viser analysen, at drænvandsafstrømningen/afstrømningen fra den umættede zone er størst og i gennemsnit har størst betydning i vinterhalvåret på lerede jorde og lavest på de sandede jorde. Men vurderes drænvandsafstrømningens betydning for kortere perioder (som dage) og i forhold til vandløbs sårbarhed overfor påvirkning fra kemiske stoffer viser analysen, at der hvert år vil være et eller flere steder, hvor drænvandsafstrømning kan udgøre hele vandløbsafstrømningen i perioden juni til august og i enkelte tilfælde for hele september. Dette falder sammen med respons-/opholdstider på 1 til 10 timer fra nedbøren er faldet til den når de små vandløb. Der sker i disse tilfælde heller ingen fortynding af drænvandet i selve vandløbet netop i en periode, hvor dyrelivet i vandløbet er stresset af lav vandføring, høje temperaturer, evt. høje fosforkoncentrationer og mulige lave ilt-niveauer.

I sandede jorde er betydningen fra drænaflowstrømningen af mindre betydning end på de lerede jorde også set på døgnniveau, samtidig med at vandføring altid vil være så høj, at der vil ske nogen for-

tynding af drænvandet. Endvidere vil opholdstiden i sandede oplande være større end i lerede oplande.

Analysen af drænaflow og afstrømningen fra den umættede zone er foretaget for mindre ret intensivt dyrkede oplande, som skønnes at være typisk for op mod 60% af Danmarks areal, der består af leret jordbund. Dræningsintensiteten på lerede jorde er ca. 40-70% af det dyrkede areal.

For de store, typisk sandede oplande vil grundvandets andel af afstrømningen være høj, der vil være lange respons- og opholdstider og drænvandets andel af afstrømningen vil være lille. Denne type arealer dækker ca. 30% af Danmarks areal. Dræningsintensiteten på sandede jorde er 10% af det dyrkede areal.



## 5 Sprøjtetidspunktets indflydelse på forekomsten i overfladevand

### 5.1 Baggrund

Denne analyse bygger på data fra Sydsverige. Her har Jenny Kreuger fra Swedish University of Agricultural Sciences lavet en sammenhængende monitoring af 30 aktivstoffer i et mindre vandløb, der afvander et opland på 9 km<sup>2</sup> med blandet landbrug dækkende en periode på 1992-96 (Kreuger, 1998). I Tabel 5.1a til c (bilag A) vises forbrugsdata for området i perioden 1992-96 og i Tabel 5.2 (bilag A) ses resultatet af monitoreringen.

### 5.2 Metode

Resultatet i Tabel 5.2 viser forekomsten af 30 aktivstoffer. Forekomsten er både udtrykt gennem en fundhyppighed og et koncentrationsniveau, og der er ikke brugt samme detektionsgrænse for alle stofferne. Derfor er det svært at lave et simpelt udtryk for forekomsten, og i denne analyse vil der blive anvendt en partial rangordningsmetode til at løse denne problematik. Denne metode vil alene rangordne stofferne og således ikke udtale sig om et bestemt stofs forekomst, men kun om dets forekomst i forhold til de andre stoffer.

En partiel rangordning betyder, at mere end én parameter bliver brugt til at rangordning på samme tid. Resultatet er såkaldte Hasse-diagrammer, der viser hvordan de enkelte elementer er sammenlignet med hinanden, og hvilken rang de har. Rangordningen ud fra data vil blive sammenholdt med oplysninger om efterårsprøjtningen for at se om stoffer, der sprøjtes med om efteråret, generelt rangordnes højere end stoffer, der ikke sprøjtes ud om efteråret.

### 5.3 Resultat

Følgende regler er brugt i rangordning af data fra Tabel 5.2:

	Høj rang	Lav rang
Fundhyppighed	høj værdi	lav værdi
Detektionsgrænse	høj værdi	lav værdi
Koncentrationsniveau	høj værdi	lav værdi

To stoffer kan sammenlignes hvis det ene stof på alle måder har højere rang end det andet, med det forbehold at stofferne godt må være ens mht. en eller flere af parametrene, fx have samme detektionsgrænse. Det er oplagt, at høj fundhyppighed og høj koncentrationsniveau giver høj rang, men for detektionsgrænsens vedkommende dækker rangordningen over det faktum, at to stoffer med forskellig detektionsgrænse kun kan sammenlignes, når det stof, der har højest

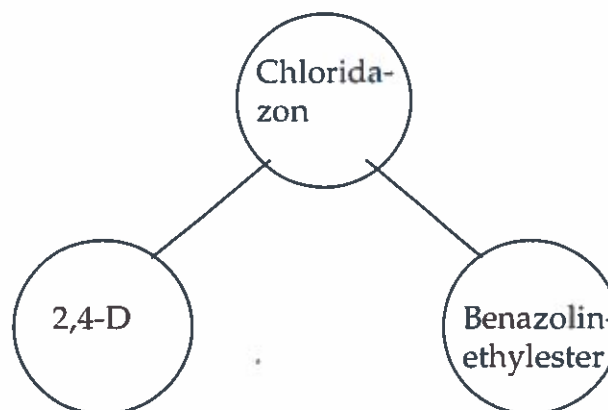


rang mht. fundhyppighed og koncentrationsniveau, også er det stof, der har den højeste detektionsgrænse.

For at eksemplificere metoden betragtes følgende udtræk af Tabel 5.2 i bilag A:

Stof	Forkortelse i Hasse-diagrammerne	Fundhyppighed (%)	Detektionsgrænse (µg/l)	Maks. ugentlig middelkoncentration (µg/l)
2,4-D	2.4 D	15	0.1	10
Benazolin-ethylester	Benaz.	1	0.2	0.4
Chloridazon	Chlori.	36	0.5	20

Fra dette udpluk ses det, at chloridazon ligger over både 2,4 D og benazolin-ethylester mht. både fundhyppighed, detektionsgrænse og middelkoncentration og kan derfor rangordnes over disse to. Derimod kan 2,4 D ikke sammenlignes med benazolin-ethylester, da 2,4 D har højst værdi for fundhyppighed og middelkoncentration, mens det er benazolin-ethylester, der har den største detektionsgrænse. De opnåede sammenligninger mellem de tre stoffer kan udtrykkes grafisk ved:

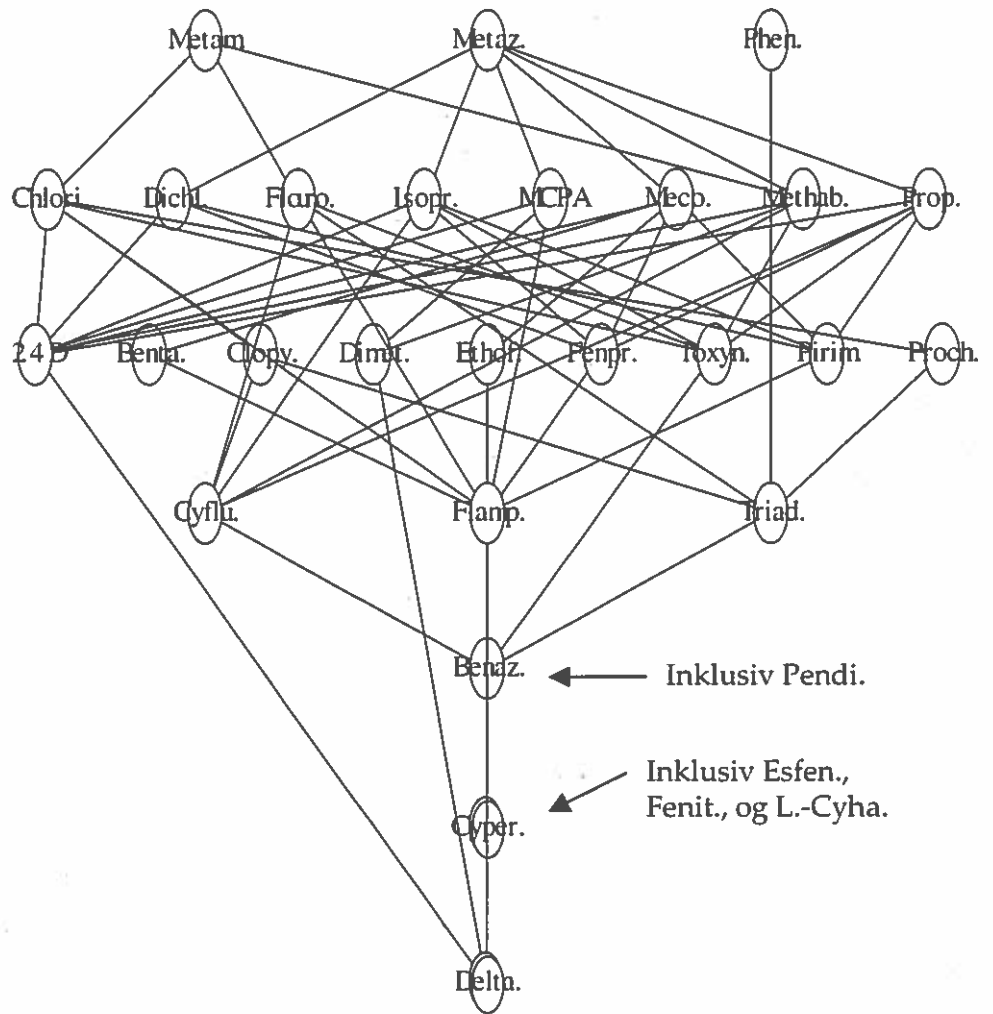


hvor chloridazon er placeret over 2,4-D og benazolin-ethylester, mens 2,4-D og benazolin-ethylester ikke er sammenlignet indbyrdes. Denne grafiske måde at vise den partielle rangorden på kaldes for et Hassediagram.

Moniteringsdata fra Tabel 5.2 er brugt til rangordning og det resulterende Hassediagram er vist i Figur 5.1. Denne rangordning vil blive sammenholdt med den efterårsvægtede udsprøjtning (EV), der er fundet ved:

$$EV = \frac{M_e}{M_f + M_e}$$

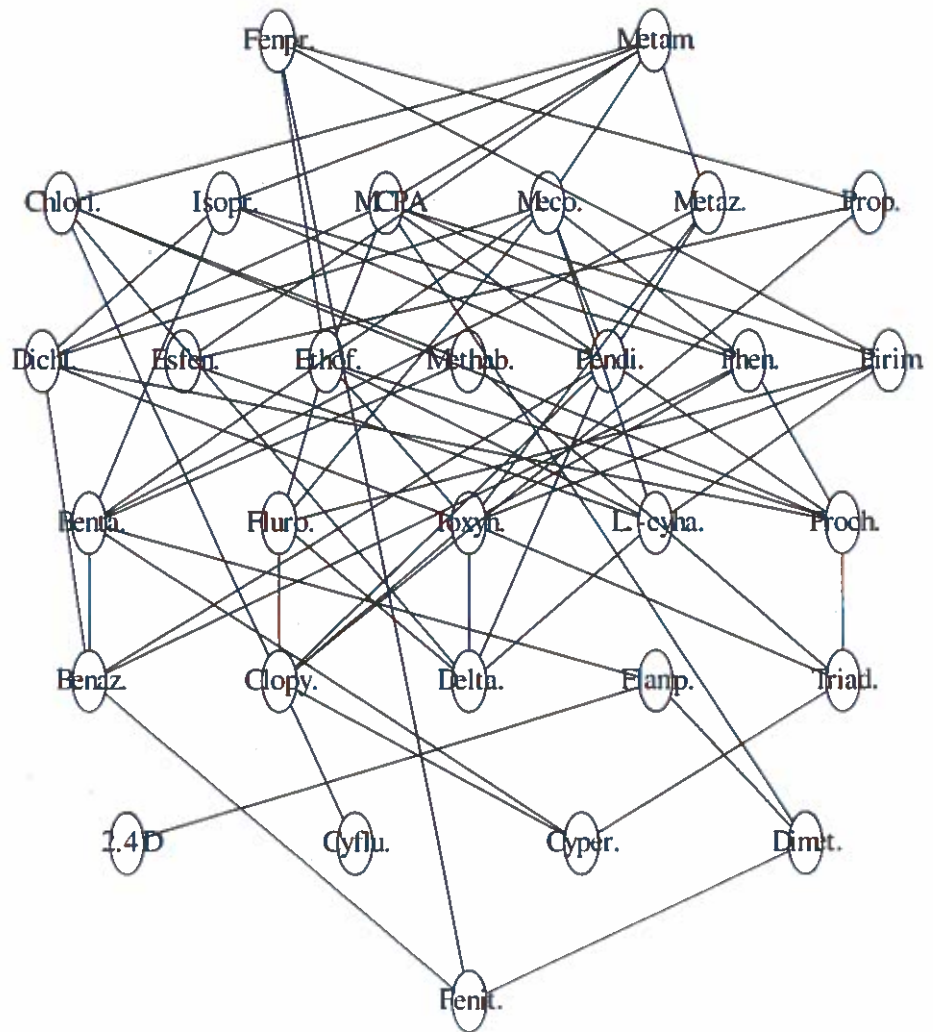
hvor  $M_e$  er den mængde (kg), der i forsøgsperioden er udsprøjtet i oplandet om efteråret (primært sidst i august, september og oktober) og  $M_f$  er den tilsvarende mængde (kg) udsprøjtet forår/sommer (primært april, maj, juni og juli). Værdierne for EV er vist i Tabel 5.1c til højre.



Figur 5.1. Et Hassediagram, hvor stofferne er rangordnet efter: Fundhyppighed, Detektionsgrænse og Maksimalt ugentligt koncentrationsniveau.

Især to stoffer har en høj EV værdi, nemlig isoproturon og metazachlor (se Tabel 5.1c), men det er også stoffer, der bliver brugt i et ret stort omfang (stort sprøjtet areal) og med relativt høje doser. For at se hvilken rang forbruget alene giver stofferne uden hensyntagen til årstiden for forbruget vises et Hasse diagram i Figur 5.2, hvor det totale samlede areal og middeldosen fra Tabel 5.1c er brugt som rangordningsparametre.

Sammenholdes figurerne 5.1 og 5.2 mht. rangen af isoproturon og metazachlor ses det, at begge stoffer har en stor rang i begge diagrammer. I Figur 5.2 er metamitron dog rangordnet over de to stoffer, hvorimod metamitron er erklæret usammenlignelig med isoproturon og metazachlor i Figur 5.1 (dvs. ingen faldende streg, der forbinder metamitron og hhv. isoproturon og metazachlor). Det er svært at give en tolkning af det faktum, at metamitron er erklæret usammenlignelig med de to andre i Figur 5.1 p.g.a. den relativt høje detektionsgrænse (0,5 µg/l) for metamitron, i forhold til isoproturon og metazachlor (0,2 µg/l). Den relativt høje rang for isoproturon og metazachlor kan altså alene forklares gennem et stort forbrug.



Figur 5.2. Hassediagram hvor det oversprøjtede areal og middeldoser er brugt som de to rangordningsparametre.

En række stoffer har en begrænset men dog betydelig anvendelse om efteråret, såsom benazonli-ethylester, cypermethrin, cyfluthrin, i-oxynil og mecoprop. Der er ikke nogle af disse stoffer, der har en mærkbar højere rang i den data baserede rangorden (Figur 5.1) set i forhold til rangordningen baseret på sprøjtet areal og dosering (Figur 5.2). Hvis det faktum at midler, udsprøjtet om efteråret, gav større forekomst i overfladevand alt andet lige var genspejlet i disse data, så ville disse stoffer have en større rang i Figur 5.1 set i forhold til Figur 5.2.

### Konklusion

På baggrund af dette datasæt er det ikke muligt at se en øget forekomst af pesticider i overfladevand som resultat af efterårssprøjtning i forhold til forår/sommer udsprøjtning. Det skal dog påpeges, at der indgår relativt få midler, som faktisk udbringes om efteråret, hvilket gør konklusionen statistisk svag. Desuden bliver de to stoffer, der mest udpræget bringes ud om efteråret, brugt i ret store mængder, hvilket alene vil betyde en stor forekomst i overfladevand også i tilfælde hvor sæsonen for udbringningen ikke havde nogen betydning.

## 6 Referencer

*Dansk Hydraulisk Institut (1998): NAM – Technical Reference and Model Documentation. Draft. DHI, Hørsholm.*

*Danmarks Meteorologiske Institut (1999): Danmarks Klima 1998. DMI, København.*

*Grant, R.; Paulsen, I.; Andersen, H.E.; Laubel, A.R.; Jørgensen, O.; Jensen, P.G.; Pedersen, M. & Rasmussen, P. (1999): Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 293.*

*Grant, R.; Laubel, A. & Kronvang, B. (1997): Nedvaskning af fosfor til dræn. Vand og Jord 4, 169-172.*

*Grant, R.; Laubel, A.; Kronvang, B.; Andersen, H.E.; Svendsen, L.M. & Fuglsang, A. (1996): Loss of dissolved and particulate phosphorus from arable catchments by subsurface drainage. Water Research 30, 2633-2642.*

*Kreuger, J., (1996): Teknisk rapport nr. 32. Avdelning för vattenvårdslära, Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Quality Management, Uppsala 1996.*

*Kreuger, J., (1997): Teknisk rapport/Technical report nr. 40. Avdelning för vattenvårdslära, Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Quality Management, Uppsala 1997.*

*Kreuger, J., (1998): Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1994, The Science of the Total Environment, Vol. 216, pp. 227-250.*

*Mielby, S.; Hansen, B.; Hoffmann, C.C. & Jacobsen, O.S. (1994): Deitrifikation i ferske enge – belyst ved kortlægning af 3 udvalgte oplande. SP Rapport nr. 9-1994. Statens Planteavlfsforsøg.*



Tabel 5.1a. Forbrugsdata fra Kreuger, (1996) og Kreuger (1996).

Bilag A

	1992						1993						1994					
	Forår/sommer			Efterår			Forår/sommer			Efterår			Forår/sommer			Efterår		
	Mængde (kg)	Areal (ha)		Mængde (kg)	Areal (ha)		Mængde (kg)	Areal (ha)		Mængde (kg)	Areal (ha)		Mængde (kg)	Areal (ha)		Mængde (kg)	Areal (ha)	
2,4-D							2.5	5										
Benazolin-ethylester	1.4	3		0.9	2		0.5	2								0.7	4	
Bentazone	2.9	7																
Chloridazon	286.9	141				175.5	93								45.2	28		
Clopyralid	3.3	27		0.2	2		5.3	114							1.1	23		
Cyfluthrin	0.3	20		0.5	29		0.4	26							0.1	6		2
Cypermethrin	0.4	5		0.4	9													
Deltamethrin	0.4	66		0.1	23		0.7	121							0.2	29		
Dichlorprop	41.5	77		16.9	47		28.7	81							66.2	197		6
Dimethoate															3.9	8		
Esfenvalerate	4.3	218		0.6	55		1.9	129							2.9	181		
Ethofumesat	27.1	162					32	151							32.7	119		
Fenitrothion							2	8										
Fenpropimorph	73.4	292					41.3	224							118.5	492		
Fiamprop-M	1.6	3					2.5	5										
Fluroxypyr	18.4	171					10.3	130							8.4	80		
Ioxynil	8.5	56		4.9	47		8.7	81							20.2	184		6
Isoproturon	19.9	22		16.3	16		36.4	32							29.5	28		55
Lambda-cyhalotrin															20.3	27		
MCPA	81.9	118		13.7	47		92.1	208							1.4	171		101
Mecoprop	18.9	30		31.8	24		40.8	48							123.7	236		6
Metamitron	470.3	189					295.6	189							181	269		7
Metazachlor				149.8	133										259.5	130		
Methabenzthiazuron	4	4		4.9	7		13.7	13							9.2	10		203
Pendimethalin	2	4													12.6	12		
Phenmediphospham	48.1	201					53.5	188							53.7	130		
Pirimicarb	34.4	307					3.2	36							57	463		
Prochloraz	17.4	85					1.1	4										
Propiconazole	24.1	290					13.5	221							39.2	489		
Triadimenol	1.9	16					1.2	13										

Tabel 5.1 b. Forbrugsdata fra Kreuger, (1996) og Kreuger (1996).

Bilag A

	1995				1996			
	Forår/sommer		Efterår		Forår/sommer		Efterår	
	Mængde (kg)	Areal (ha)	Mængde (kg)	Areal (ha)	Mængde (kg)	Areal (ha)	Mængde (kg)	Areal (ha)
2,4-D								
Benazolin-ethylester								
Bentazone					8.6	13		
Chloridazon	59.2	44			8.7	10		
Clopyralid	0.2	2			0.8	12		
Cyfluthrin	0.3	18			0.5	25		
Cypermethrin								
Deltamethrin					0.4	47		
Dichlorprop	13.2	37			29.4	96		
Dimethoate								
Esfenvalerate	0.6	38			2.6	166		
Ethofumesat	32.7	138			15.3	65		
Fenitrothion								
Fenpropimorph	52.3	234			142.4	465		
Flamprop-M								
Fluroxypyr	5.9	53			20.3	283		
Ioxynil	4.3	37			1.6	16		
Isoproturon	21.9	17	219.8	231			211	219.5
Lambda-cyhalotrin	1.1	159	0.1	51	1.7	175		
MCPA	28.4	60			78.9	177		
Mecoprop	91.3	136	69.7	114	32.3	107		
Metamitron	317.1	148			142.6	74		
Metazachlor			126.9	119			13.1	8.7
Methabenzthiazuron	3.9	4						
Pendimethalin					28.3	74		
Phenmedhipham	62.5	148						
Pirimicarb	2.6	17			9.4	94		
Prochloraz								
Propiconazole	17.4	234			49.6	465		
Triadimenol					0.7	9		

Tabel 5.1.c. Forbrugsdata fra Kreuger, (1996) og Kreuger (1996).

	Total				Samlet total			Efterårs Vægtning EV
	Forår/ sommer		Efterår		Mængde (kg)	Areal (ha)	Middel- dosering (kg/ha)	Mængde (kg)
	Mængde (kg)	Areal (ha)	Mængde (kg)	Areal (ha)				
2,4-D	3	5	0	0	3	5	0.500	0.000
Benazolin-ethylester	3	9	1	2	4	11	0.318	0.257
Bentazone	14	24	0	0	14	24	0.560	0.000
Chloridazon	636	352	0	0	636	352	1.805	0.000
Clopyralid	11	179	0	2	11	181	0.061	0.018
Cyfluthrin	2	101	1	41	3	142	0.018	0.325
Cypermethrin	0	5	0	9	1	14	0.057	0.500
Deltamethrin	2	304	0	23	2	327	0.006	0.048
Dichlorprop	211	548	19	53	230	601	0.383	0.082
Dimethoate	4	8	0	0	4	8	0.488	0.000
Esfenvalerate	14	876	1	55	15	931	0.016	0.040
Ethofumesat	189	901	0	0	189	901	0.210	0.000
Fenitrothion	2	8	0	0	2	8	0.250	0.000
Fenpropimorph	504	2003	0	0	504	2003	0.251	0.000
Flamprop-M	4	8	0	0	4	8	0.513	0.000
Fluroxypyr	63	717	0	0	63	717	0.088	0.000
Ioxynil	43	374	6	53	49	427	0.114	0.113
Isoproturon	117	112	571	602	688	714	0.964	0.830
Lambda-cyhalotrin	5	664	1	152	6	816	0.007	0.091
MCPA	447	876	15	53	462	929	0.498	0.033
Mecoprop	430	733	119	160	549	893	0.615	0.217
Metamitron	2028	1006	0	0	2028	1006	2.015	0.000
Metazachlor	9	10	576	535	585	545	1.073	0.984
Methabenzthiazuron	45	39	5	7	50	46	1.084	0.097
Pendimethalin	155	354	0	0	155	354	0.436	0.000
Phenmedhipham	218	667	0	0	218	667	0.327	0.000
Pirimicarb	107	917	0	0	107	917	0.116	0.000
Prochloraz	19	89	0	0	19	89	0.208	0.000
Propiconazole	169	1995	0	0	169	1995	0.085	0.000
Triadimenol	4	38	0	0	4	38	0.100	0.000



Tabel 5.2. Data fra Kreuger, 1998.

Stof	Forkortelse i Has- se-diagrammerne	Fundhyppighed (%)	Detektionsgrænse (µg/l)	Maks. ugentlig mid- delkoncentration (µg/l)
2,4-D	2.4 D	15	0.1	10
Benazolin-ethylester	Benaz.	1	0.2	0.4
Bentazone	Benta.	66	0.1	5
Chloridazon	Chlori.	36	0.5	20
Clopyralid	Clopy.	10	0.3	6
Cyfluthrin	Cyflu.	5	0.2	5
Cypermethrin	Cyper.	0	0.2	0
Deltamethrin	Delta.	0	0.1	0
Dichlorprop	Dichl.	54	0.1	25
Dimethoate	Dimet.	4	0.1	30
Esfenvalerate	Esfen.	0	0.1	0
Ethofumesate	Ethof.	67	0.1	4
Fenitrothion	Fenit.	0	0.1	0
Fenpropimorph	Fenpr.	53	0.1	6
Flamprop-M	Flamp.	29	0.1	2
Fluroxypyr	Fluro.	40	0.3	5
Ioxynil	Ioxyn.	16	0.2	3
Isoproturon	Isopr.	58	0.2	10
Lambda-cyhalotrin	L.-cyha.	0	0.1	0
MCPA	MCPA	48	0.1	39
Mecoprop	Meco.	71	0.1	16
Metamitron	Metam.	42	0.5	60
Metazachlor	Metaz.	79	0.2	200
Methabenzthiazuron	Methab.	27	0.2	30
Pendimethalin	Pendi.	0	0.2	0
Phenmedhipham	Phen.	1	1	2
Pirimicarb	Pirim.	52	0.1	7
Prochloraz	Proch.	6	0.5	1
Propiconazole	Prop.	55	0.2	12
Triadimenol	Triad.	1	0.3	0

# Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion  
Personale- og Økonomisekretariat  
Forsknings- og Udviklingssektion  
Afd. for Systemanalyse  
Afd. for Atmosfærisk Miljø  
Afd. for Miljøkemi  
Afd. for Havmiljø  
Afd. for Mikrobiel økologi og bioteknologi  
Afd. for Arktisk Miljø*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejløvej 25  
Postboks 314  
8600 Silkeborg  
Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Terrestrisk Økologi  
Afd. for Vandløbsøkologi  
Afd. for Sø- og Fjordøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12-14, Kalø  
8410 Rønde  
Tlf.: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Landskabsøkologi  
Afd. for Kystzoneøkologi*

## Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMUNyt. En oversigt over DMU's publikationer og aktuelle aktiviteter kan findes på DMU's hjemmeside. Årsberetning og DMUNyt er gratis.

