



Forskningscenter for Økologisk Jordbrug

FØJO

Status omkring grundvandsbeskyttelse ved omlægning til økologisk jordbrug

Birgitte Hansen,
Vibeke Ernstsén og
Hans Jørgen Henriksen

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)

Formålet med FØJO er at koordinere den økologiske jordbrugsforskning i Danmark med henblik på at sikre optimalt udbytte af de ressourcer, som afsættes til forskning. Centret skal bidrage til, at der bliver udført forskning af høj kvalitet og på et internationalt niveau med udgangspunkt i det økologiske jordbrugs idegrundlag og problemstillinger. Forskningen skal bidrage til en videreudvikling af det økologiske jordbrug for derved at forøge omstillingsmulighederne fra traditionel til økologisk jordbrugsproduktion med hensyn til økonomiske, økologiske og sociale aspekter.

FØJO er et "forskningscenter uden mure", hvor den forskningsfaglige kompetence udgøres af de forskere og institutioner, som deltager i centrets forskningsprogrammer. Forskerne bliver således i deres egne miljøer, men arbejder sammen på tværs af institutionerne. Samarbejdet omfatter ca. 100 forskere fra 15 forskellige forskningsinstitutioner.

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)
Foulum • Postboks 50 • 8830 Tjele

Tlf. 89 99 16 75 • Fax 89 99 12 00
E-mail: foejo@agrsci.dk
Hjemmeside: www.foejo.dk

Status omkring grundvands- beskyttelse ved omlægning til økologisk jordbrug

FØJO-rapport nr. 10
Udskrevet fra www.foejo.dk

Birgitte Hansen,
Vibeke Ernstsén og
Hans Jørgen Henriksen

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug 2001

FØJO-rapport nr. 10/2001

Status omkring grundvandsbeskyttelse ved omlægning til økologisk jordbrug

Forfattere

Birgitte Hansen, Vibeke Ernstsen og Hans Jørgen Henriksen

Udgiver

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug

Udgivet

Januar 2001

Layout

Forside: Enggaardens Tegnesteue

Indhold: Grethe Hansen, FØJO

Fotos på omslag

E. Keller Nielsen

Tryk: Repro og Tryk, Skive

Papir: 90 g Cyklus print

Sidetale: 56 pp.

ISSN: 1398-716X

Pris: 75,- kr. inkl. moms og forsendelse

Købes hos

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)

Foulum

Postboks 50

8830 Tjele

Tlf. 89 99 16 75, fax 89 99 12 00

E-mail: foejo@agrsci.dk

Forord

I Danmark er det målet, at grundvandet er af en sådan kvalitet, at det uden rensning kan anvendes til drikkevand. Grundvandet forbliver imidlertid ikke rent uden en aktiv indsats, der beskytter grundvandet mod pesticider og nitrat.

Omkring 35% af Danmarks areal er i dag udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser. Her skal amterne udpege nitratfølsomme områder, og der skal udarbejdes indsatsplaner for, hvorledes grundvandskvaliteten i disse områder sikres. I den forbindelse forekommer økologisk jordbrug at være en oplagt mulighed; primært fordi der ikke anvendes pesticider, men også fordi det er en central målsætning, at der i driften tages hensyn til miljø- og naturværdier.

Spørgsmålet er imidlertid, i hvilken udstrækning økologiske drift beskytter grundvandet mod nitrat, hvilket må være en forudsætning for jord-

brugsproduktion i nitratfølsomme indvindingsområder. I en vidensyntese, som netop er gennemført i regi af FØJO, har en gruppe eksperter derfor gennemgået dels den viden, som findes omkring miljøbelastning fra økologisk jordbrug, dels den viden, som findes omkring forureningsproblemer i grundvandet.

Vidensyntese går i korthed ud på at indsamle, diskutere og sammenstille den eksisterende viden på et givet område i et forum af eksperter inden for forskellige discipliner. I nærværende projekt har der deltaget eksperter inden for bl.a. geologi, vandmiljø, agronomi, natur og landskab samt forvaltning.

Forfatterne af nærværende rapport, som er udarbejdet på grundlag af vidensyntesen, og de eksperter, som har deltaget i vidensyntesen, takkes for deres bidrag.

*Erik Steen Kristensen
Forskningscenter for Økologisk Jordbrug
Januar 2001*

Indhold

Forord	3
Indholdsfortegnelse	5
Sammendrag	7
1 Baggrund, formål og metoder	11
Baggrund	11
Videnssynesens formål.....	13
Metoder og procesbeskrivelse.....	13
Rapportens formål.....	17
2 Landbrugets forurening af grundvandet i Danmark.....	19
Nitratforurening af grundvandet.....	19
Pesticidforurening af grundvandet.....	20
3 Beskyttelse af grundvandsressourcen i Danmark.....	23
Grundvandsstrategi	23
Drikkevandsudvalget og den nye lov	24
Regionplan 2001	24
Zonering og grundvandsbeskyttelse de næste 10 år.....	25
Indsatsmuligheder med økologisk jordbrug.....	27
4 Hydrologiske forholds indvirkning på grundvandskvaliteten.....	29
Det hydrologiske kredsløb.....	29
Nedsivning fra rodzonen.....	30
Tidshorisont for forbedring af grundvandskvaliteten	30
5 Kvælstofkoncentrationer i nedsivningsvandet ved omlægning til økologisk jordbrug ...	33
Det økologiske kvægbrugssædskifte ved Foulum.....	33
Langvarige økologiske sædskifteforsøg	35
Økologiske modelsædskifter	36
Udenlandske undersøgelser.....	39
6 Regionale undersøgelser af N-udvaskningen fra økologisk jordbrug.....	41
Casestudium fra Drastrup og Aalborg SØ.....	41
Omlægning af et regionalt område i Midtjylland.....	41
Udenlandske undersøgelser.....	42
7 Vigtige hypoteser og problemstillinger for et fremtidigt forskningsprojekt	43
Processtudier	43
Oplandsstudier	44
8 Referencer.....	47
Appendiks: Agro-hydro-geo-kemiske oplysninger om Havdal, Bolbro og Eggeslevmagle.....	51

Sammendrag

Omkring 35% af Danmarks areal er i dag udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser. I den kommende regionplan 2001 skal amterne bl.a. udpege nitratfølsomme indvindingsområder inden for disse områder. Senere skal amterne udføre en detailkortlægning af grundvandsressourcerne, ligesom der skal udarbejdes indsatsplaner med et tiårigt sigte. Indsatsen, som formodentlig vil koste i nærheden af en mia. kroner, vil blive finansieret via gebyrer på vandindvindingsstilladelser. Der skal med andre ord ske en kraftig styrkelse af indsatsen for at beskytte og bevare grundvand til drikkevandsformål i Danmark.

Økologisk jordbrug er en oplagt mulighed i forbindelse med grundvandsbeskyttelse. Det skyldes primært forbudet mod pesticidanvendelse, men også at der er en række centrale målsætninger om at der i driften skal tages hensyn til miljø- og naturværdier. Et centralt spørgsmål er imidlertid, i hvilken udstrækning økologisk drift beskytter grundvandet mod nitrat, hvilket må være en forudsætning for at opretholde jordbrugsproduktionen i nitratfølsomme indvindingsområder. Her mangler der viden om de præcise muligheder med økologisk jordbrug og grundvandsbeskyttelse, men meget tyder på, at det er nødvendigt at tilpasse økologisk jordbrug til lokale forhold relateret til klima, jordbund, geologi etc.

Vidensyntesen

Det overordnede formål med rapporten er at give en status omkring grundvandsbeskyttelsen og økologisk jordbrug. Rapporten indledes med en beskrivelse af "vidensyntesen om grundvandsbeskyttelse og økologisk jordbrug", der har forløbet i FØJO fra december 1999 til oktober 2000 (kapitel 1). Vidensyntese går i korthed ud på at indsamle og sammenstille den eksisterende viden på et område og diskutere denne viden i et forum af eksperter inden for forskellige discipliner og fagområder. Projektet skulle sammenkoble den viden, som findes omkring miljøbelastning fra

økologisk jordbrug, med den viden, som findes omkring forureningsproblemer i grundvandet. I vidensyntesen er der ikke nået en endelig konklusion omkring grundvandskvaliteten ud over, at pesticidbelastningen formindskes ved omlægning til økologisk jordbrug. Dette skyldes især, at der på nuværende tidspunkt ikke eksisterer en velegnet nitratudvaskningsmodel, der kan forudsige udvaskningen fra økologisk jordbrug. Arbejdet i vidensyntesen har imidlertid resulteret i, at vigtige hypoteser og problemstillinger er blevet identificeret indenfor feltet.

Forureningsproblemer og beskyttelse af grundvandet

I kapitel 2 gives der en status over forureningsproblemer i grundvandet i Danmark, som stammer fra landbruget. Der foregår en omfattende overvågning af grundvandet i Danmark på baggrund af vandanalyser fra grundvandsovervågningsområder (GRUMO), landovervågningsområder (LOOP) og vandværkernes boringskontrol. Nitrat, pesticider og deres nedbrydningsprodukter er de vigtigste stoffer i grundvandet, som kan stamme fra landbruget. I ikke-bynære grundvandsområder er der ligelig fordeling af landbrugsanvendte og ikke-landbrugsanvendte pesticider i det terrænnære grundvand. Den overvejende del af de fundne stoffer er i dag forbudte eller regulerede. I modsætning hertil stammer nitraten i grundvandet langt overvejende fra landbrugsarealer.

I de seneste 10 år er omkring 500 mindre vandværker lukket på grund af høje nitratkoncentrationer i indvindingsvandet. Omkring 60% af overvågningsboringerne og 66% af vandforsyningsboringerne indeholder ikke nitrat over den anvendte detektionsgrænse på 1 mg L-1. 25% af overvågningsboringerne indeholder mere nitrat end den vejledende grænseværdi for drikkevand på 25 mg L-1 og 17% mere end tilladeligt i drikkevand (50 mg L-1).

Pesticidrester er fundet i alle dele af det hydrologiske kredsløb, hvor der er lavet undersøgelser: regnvand, jordvand, drænvand, vandløb, vandhuller, søer og i grundvand og ligeledes i fødevarer. Der observeres faldende koncentrationer, jo dybere prøverne er taget i grundvandsmagasinet. I landovervågningsoplandene med boringer i 1,5-5 meters dybde er der f.eks. fundet pesticider og deres nedbrydningsprodukter i 46% af de undersøgte filtre, og grænseværdien for drikkevand er overskredet i 10% af filtrene. De landbrugsanvendte pesticider, der hovedsagelig er fundet i grundvandet er triaziner og deres nedbrydningsprodukter. I de senere år er glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, fra sprøjtemidlet Round-up, også fundet med høj fundprocent i såvel vandløbs- som drænanalyser samt i en del terrænnære grundvandsmagasiner.

På nuværende tidspunkt er det muligt at udpege nitratfølsomme indvindingsområder ud fra kendskab til det aktuelle nitratindhold i grundvandet samt geologiske, hydrogeologiske og geo-kemiske egenskaber af jordbund, den dybere perkolationszone og grundvandsmagasinet. Derimod er det på nuværende tidspunkt ikke muligt, på grund af manglende viden, at udpege pesticidesår-bare områder, men visse områder er åbenbart sårbare.

Beskyttelse af grundvand og drikkevand i Danmark har høj prioritet (kapitel 3). Man ønsker at bevare og opretholde en høj grundvandskvalitet, sådan at der kan leveres drikkevand efter en simpel vandbehandling af grundvandet. I de senere år har der været en voksende erkendelse af, at det rene grundvand ikke kan bevares uden en aktiv beskyttelsesindsats på jordoverfladen både fra punkt- og fladekilder. Det grundlæggende synspunkt i den danske grundvandsbeskyttelse er, at alt grundvand, som indvindes til vandforsyning, skal beskyttes. Dette vil ske i forbindelse med amternes regionplan 2001, og den efterfølgende kortlægning af grundvandsressourcen og udarbejdelse af indsatsplaner i løbet af de næste 10 år. Her er der et stort behov for at kende de præcise muligheder for grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug.

Vandhusholdningen

Vandets kredsløb er styrende for den mængde grundvand, som dannes, og dermed også for grundvandskvaliteten (kapitel 4). Hvis man f.eks. sammenligner hydrologiske oplande på ler- og sandjorde i Danmark, viser det sig, at ca. 7% af nedbøren går til grundvandsdannelse på lerjorde mod ca. 40% på sandjorde. Disse forhold er afgørende for størrelsen af udvaskningen af kvælstof til grundvandet samt transporten af kvælstof i vandløb i et givet område. N-udvaskningen fra rodzonen kan reduceres ved at reducere overskuddet af kvælstof i rodzonen om efteråret og vinteren, hvor der sker perkolation fra rodzonen og grundvandsdannelse. Her kan f.eks. etablering af fangafgrøder spille en afgørende rolle for en minimeret kvælstofudvaskning til grundvandet. Der er behov for at analysere eventuelle ændringer i vandbalancen ved omlægning til økologisk drift som resultat af anvendelse af fangafgrøder i stor udstrækning og ændringer i hovedafgrødemassen (bladarealets størrelse og varighed).

Det er vigtigt at kunne udtale sig om, hvornår grundvandskvaliteten vil ændre sig ved omlægning til økologisk jordbrug. Hvornår vil der f.eks. ikke længere optræde pesticider i grundvandet efter omlægningen? Her er det nødvendigt at anvende dynamiske modeller, der kan simulere den tidlige variation i vandets kredsløb fra overflade til grundvand samt kvælstofudvaskning fra rodzonen og kvælstofkoncentrationer i grundvandet. Anvendelse af sådanne modeller vil også gøre det muligt at eliminere de store klimatiske betingede variationer i N-udvaskning og N-koncentrationer i grundvandet, sådan at effekten af omlægningen til økologisk jordbrug vil kunne identificeres.

N-udvaskningen i økologisk jordbrug

Undersøgelser på markniveau har generelt vist, at N-udvaskningen fra økologisk jordbrug er lav, hvilket beskrives i kapitel 5. Ligeledes viser de fleste undersøgelser, som sammenligner økologisk med konventionelt jordbrug et højere N-udvaskningspotentiale fra konventionelt jordbrug. Det er dog svært at lave generelle konklusioner om N-udvaskningen fra økologiske og konventio-

nelle systemer, da: I) årstal og varighed af undersøgelserne varierer, II) resultaterne er afhængige af den anvendte metode, III) jordtype og klima varierer og IV) de fleste undersøgelser har været på kvægbrug. Kun få undersøgelser har for eksempel beskæftiget sig med økologiske plante- og svinebrug. Det må også erkendes, at nitratudvaskningen i nogle økologiske produktionssystemer er for høj til at sikre beskyttelse af grundvandet. Der er således et stort behov for at analysere og udvikle forbedrede økologiske produktionssystemer, der kan sikre en tilstrækkelig beskyttelse af grundvandet.

I kapitel 6 beskrives de undersøgelser, der findes på regionalt niveau, som omhandler N-udvaskningen fra økologisk jordbrug. En nyere dansk undersøgelse har vist, at effekten af omlægningen til økologisk jordbrug på N-udvaskningen er meget afhængig af, hvilke bedriftstyper der omlægges, og hvor meget belægningsgraden ændres. F.eks. betyder en stor selvforsyningsgrad med foder og gødning på den økologiske bedrift en lav N-udvaskning. I nogle europæiske lande, som f.eks. Tyskland, er det en udbredt opfattelse, at grundvandsforureningen med nitrat er lavere fra økologisk jordbrug. Andre lande, som Danmark, ønsker flere videnskabelige beviser, før man vil bruge økologisk jordbrug som et redskab i grundvandsbeskyttelsen. Flere undersøgelser har vist, at økologisk jordbrug ikke altid har nitratkoncentrationer i rodzonen lavere end 50 mg nitrat per L. Det forventes dog, at N-udvaskningen fra økologisk jordbrug kan forblive under denne grænseværdi ved at justere dyretætheden, brugstypen og sammensætningen af sædskiftet til lokale forhold, som er relateret til klima, jordtype, geologi etc.

Et fremtidigt forskningsprojekt

Den gennemførte vidensyntese om grundvandsbeskyttelse og økologisk jordbrug har resulteret i, at vigtige hypoteser og problemstillinger er blevet identificeret for et fremtidigt forskningsprojekt omkring grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug (kapitel 7). Problemstillingerne kan samles i 4 hovedgrupper:

- *N-udvaskning fra rodzonen.* Validering og forbedring af modeller til forudsigelse af N-udvaskningen fra rodzonen, herunder test af centrale hypoteser omkring udvaskning af opløst organisk stof (DOC) samt fordampning.
- *Agronomiske aspekter på oplandsniveau.* Beskrivelse af nuværende praksis, planer for omlægning til økologisk jordbrug og modellering af N-udvaskningen på oplandsniveau
- *Geologiske aspekter på oplandsniveau.* Hydrologisk modellering. Estimering af nitratreduktionskapaciteten. Geokemisk modellering.
- *Regulering og socio-økonomiske aspekter.* Hvordan skal driften reguleres? Hvilke beskæftigelsesmæssige og økonomiske konsekvenser har en omlægning til økologisk jordbrug?

Nogle hypoteser og problemstillinger egner sig til processtudier andre til oplandsstudier. Arbejdet i ekspertgruppen blev afsluttet med en rammebeskrivelse for et FØJO II projekt med titlen: "Udvikling af økologiske jordbrugssystemer til følsomme grundvandsindvindingsområder (ØJ+). Projektets titel og formål tager udgangspunkt i et fremsendt (11. oktober 2000) EU-projekt (OF+) under det 5. rammeprogram 1998-2002, "Quality of Life and Management of Living Resources".

1 Baggrund, formål og metoder

Baggrund

Grundvandsbeskyttelse og udvikling af et bæredygtigt jordbrug

Beskyttelse af grundvand og drikkevand i Danmark har høj prioritet. Grundvandskvaliteten skal bevares og opretholdes, sådan at der kan leveres drikkevand efter en simpel vandbehandling af grundvandet. I de senere år har der været en voksende erkendelse af, at det er nødvendigt med en aktiv beskyttelsesindsats på jordoverfladen både fra punkt- og fladekilder, hvis denne målsætning skal kunne opretholdes i fremtiden. Dette har resulteret i en kraftig styrkelse af indsatsen for at beskytte og bevare grundvandet, blandt andet ved vedtagelse af ny lov om vandforsyning og grundvandsbeskyttelse og gebyrloven på vandindvindningstilladelser. 35% af Danmarks areal er udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser. I den kommende regionplan 2001, som amterne udarbejder, skal der udpeges nitratfølsomme indvindingsområder, og udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser skal justeres. Senere skal amterne udføre en detailkortlægning af grundvandsressourcerne, og der skal laves indsatsplaner, som forventes at tage 10 år at gennemføre, med et samlet budget på ca. 1 mia. kr. finansieret gennem gebyrerne. Udarbejdelsen af indsatsplaner for beskyttelse af grundvandet kræver virkemidler som forskellige typer arealanvendelser, f.eks. økologisk jordbrug, skovrejsning, etablering af våde enge etc.

Reguleringen af det danske landbrug i løbet af de seneste årtier i forbindelse med Vandmiljøplanerne er blevet gennemført med henblik på at reducere jordbrugets forurening med især næringsstoffer og pesticider til vandmiljøet. Ønsket om regulering skyldes blandt andet høje koncentrationer af nitrat og fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i flere grundvandsborin-

ger, der delvis kan relateres til landbrugsdriften i områderne.

I en situation med landbrugsmæssig overproduktion og ønske om store miljöhensyn kan landbruget overordnet set udvikle sig i to retninger (Halberg et al., 1995):

1. Intensivering af landbrugsproduktion på de bedste jorde og marginalisering af større områder med dårlige dyrkningsbetingelser til ekstensive arealanvendelser
2. Begrænse produktionen til mindre intensiv landbrugsproduktion og dermed kombinere miljöhensyn og landbrugserhvervets overlevelse i alle egne af landet

Spørgsmålet er, om økologisk jordbrug gør det muligt at kombinere landbrugsproduktion og miljøbeskyttelse, hvilket må være en forudsætning for at opretholde jordbrugsproduktionen i områder med særlige drikkevandsinteresser. Jordbrugets arealanvendelse skal tilpasses således, at det er lokalt og miljømæssigt acceptabelt. På denne måde vil landområderne ikke blive opdelt i intensive dyrkningsområder og "grundvandsreservater" uden landbrugsmæssig aktivitet (Hansen og Christiansen, 1998).

Miljø- og naturhensyn i økologisk jordbrug

Økologisk jordbrug udgør, på grund af en række centrale målsætninger med hensyn til miljø og natur, en oplagt mulighed til beskyttelse af grundvandet. De danske myndigheders definition af økologisk jordbrug er første gang givet i 1987 i Lov om økologisk jordbrugsproduktion (nr. 363 af 10. juni 1987). I boks 1 er gengivet en beskrivelse, der stammer fra Aktionsplan II – Økologi i udvikling.

Økologisk jordbrug adskiller sig fra konventionelt jordbrug ved, at driften skal leve op til en målsætning om også at tage hensyn til f.eks. miljø, natur og husdyrvelfærd. Målsætningen er fastlagt af den økologiske bevægelse og opfyldelse af målsætningen blev oprindeligt sikret gennem egen regulering. De økologiske foreninger i Norden har tilsluttet sig følgende beskrivelse af økologisk jordbrug:

"Med økologisk jordbrug forstås et selv bærende og vedvarende agro-økosystem i god balance. Systemet baseres mest muligt på lokale og fornyelige ressourcer. Økologisk jordbrug bygger på et helbedssyn, som omfatter de økologiske, økonomiske og sociale sider i jordbrugsproduktionen både i lokalt og i globalt perspektiv. I det økologiske jordbrug betragtes naturen således som en helhed med sin egen værdi, og mennesket har et moralsk ansvar for at drive jordbruget således, at kulturlandskabet udgør en positiv del af naturen."

Denne meget overordnede målsætning er bl.a. uddybet i avlsgrundlaget for Landsforeningen for Økologisk Jordbrug (LØJ), der angiver følgende målsætninger for det økologiske jordbrug.

- Arbejde så meget som muligt i lukkede stofkredsløb og benytte stedlige ressourcer
- Bevare jordens naturlige frugtbarhed
- Undgå alle former for forurening, som måtte hidrøre fra jordbrugsmæssig praksis
- Fremme en dyrkningsmæssig praksis, som tager størst muligt hensyn til miljø og natur
- Producere fødevarer af optimal ernæringsmæssig kvalitet.
- Reducere jordbrugets forbrug af ikke-fornybare ressourcer, herunder fossile brændstoffer, til et minimum
- Arbejde hen imod, at byernes og fødevarerindustriens affaldsprodukter opnår en kvalitet, så de kan genbruges som gødningsmidler i jordbruget
- Give alle husdyr gode forhold, der er i overensstemmelse med deres naturlige adfærd og behov
- Gøre alt, hvad der er muligt, for at sikre, at alle levende organismer lige fra mikroorganismer til planter og dyr, som jordbrugeren arbejder med, bliver forbundsfæller

(Aktionsplan II – økologi i udvikling, 1999)

Boks 1. Beskrivelse af økologisk jordbrug

Både i forvaltningen og i forskningsverdenen mangler der viden omkring de præcise muligheder med økologisk jordbrug til grundvandsbeskyttelse. I økologisk jordbrug tilstræbes det at arbejde så meget som muligt i lukkede stofkredsløb, dels for at undgå tab til luft og vandmiljø, dels for at øge produktionen. Ligeledes arbejdes der med at bevare eller øge jordens frugtbarhed og i øvrigt at undgå alle former for forurening, der stammer fra den landbrugsmæssige praksis. Det er endvidere centralt, at der ikke anvendes industrielt fremstil-

lede gødninger og pesticider i økologisk jordbrug.

Meget tyder på, at det er nødvendigt at tilpasse økologisk jordbrug til lokale forhold relateret til klima, jordbrug, geologi etc., når økologisk jordbrug skal bruges som virkemiddel til beskyttelse af grundvandet. Der kunne for eksempel være et krav om en lav husdyrtæthed eller brug af efterafgrøder i maksimal udstrækning for økologisk jordbrug i områder, hvor grundvandet er sårbart.

Politisk baggrund

I "Aktionsplan II – økologi i udvikling" fra det Økologiske Fødevareråd (januar 1999) er der givet flere anbefalinger med det formål at øge mulighederne for det økologiske jordbrugs betydning i forbindelse med beskyttelsen af miljøet og fremme af en bæredygtig udvikling af jordbruget. Følgende 2 anbefalinger omhandler beskyttelse af grundvandet:

- 1) *anbefaling nr. 74. Det anbefales at foretage en analyse af mulighederne for at inddrage den økologiske jordbrugsbedrift som et miljøpositivt element på linie med øvrige miljøvenlige jordbrug i forhold til den kommende arealdisponering i Danmark.*
- 2) *anbefaling nr. 68. Det anbefales at undersøge mulighederne for udvikling af nye samarbejdsformer mellem jordbrugere, regionale/lokale myndigheder samt andre interessenter i forbindelse med udnyttelsen af miljøbeskyttelsespotentialet i økologisk jordbrug.*

Anbefalingen uddybes i teksten: *I den forbindelse skal det afklares, hvordan tilpasning af økologisk jordbrug kan ske i forhold til lokale/regionale målsætninger for fremme af naturværdier og beskyttelse af grundvand, herunder om der er behov for etablering af særlig veldokumenterede typer af økologisk jordbrug til sådanne formål.*

Bichel-udvalget, der havde til opgave at vurdere de samlede konsekvenser af en afvikling af pesticidanvendelsen, afsluttede deres arbejde (marts 1999) med flere anbefalinger, til Miljø- og energiministeren, som berører grundvandsbeskyttelse. Udvalget bestod af et hovedudvalg og 4 faglige underudvalg, hvor hovedudvalget havde til opgave at koordinere og diskutere underudvalgenes arbejde.

Underudvalget for Miljø og sundhed (1999) gav følgende anbefaling:

Underudvalget anbefaler ophør med anvendelse af pesticider i områder, hvor der indvindes grundvand til drikkevandsformål.

Hovedudvalget (1999) giver blandt andet følgende samlede anbefalinger, som vedrører hel eller delvis afvikling af pesticider og økologisk omlægning:

Nr. 7 s. 142: Udvalget tilslutter sig drikkevandsudvalgets konklusioner vedrørende pesticidanvendelsen, herunder at der sker en udpegning af indsatsområderne for pesticidanvendelse i de særligt følsomme drikkevandsområder. Der er behov for, at pesticidanvendelsen reguleres på disse områder.

Nr. 8 s. 143: Udvalget noterer sig strategien i Aktionsplan II og anbefaler, at økologisk omlægning fremmes mest muligt som redskab til også at fremme miljøpolitikken. Denne omlægning skal være inden for markedets rammer.

Videnssynsesens formål

Formålet med projektet, der er præsenteret i nærværende rapport, har været følgende:

- I) at analysere de miljømæssige konsekvenser for grundvandet ved omlægning til økologisk jordbrug i forskellige nitrat og/eller pesticidfølsomme indvindingsoplande
- II) at give forslag til regulering af økologisk jordbrug i relation til forbedret kvalitet af nedsivningsvandet.

Projektet er et såkaldt videnssynsesprojekt, hvilket betyder, at eksisterende viden og informationer skulle sammenstilles og sættes i sammenhæng. Der skulle derfor ikke laves nye forsøg og målinger. Projektet skulle med andre ord sammenkoble den viden, som findes omkring miljøbelastning fra økologisk jordbrug, med den viden, som findes omkring problemer med grundvandet. I næste afsnit er metoden beskrevet i detaljer.

Metoder og procesbeskrivelse

Videnssynsesen er foretaget på et systemteoretisk grundlag, fordi systemtankegangen, der er baseret på den tværvideenskabelige systemteori, med fordel kan benyttes til at undersøge komplekse, tværfaglige problemstillinger som grundvandsbeskyttelse og økologisk jordbrug. Systemteorien giver et godt teoretisk grundlag for at beskrive og skabe operationelle opfattelser af komplekse problemstillinger. Målet er at kunne forstå helheden ud fra en forståelse af enkeltdelene. Herved sker der en

forenkling og en abstraktion fra virkeligheden. Denne forenkling afhænger af de øjne, der betragter virkeligheden, og kan derfor altid diskuteres. Det centrale i systemforskningen er således ikke kun slutproduktet i form af system- og modelresultater. Bevidstheden om forenklingen, herunder betydningen af synsvinklen, hvilke kriterier der forenkles ud fra og/eller hvilke aspekter, der er i fokus.

Der findes en række artikler, der beskriver systemteorien og systemtænkningens anvendelse i forskningen. Blandt nyere artikler, der beskriver systemisk forskning i relation til begrebet bæredygtighed og økologisk jordbrug, kan der henvises til Kristensen og Halberg, 1997; Alrøe og Kristensen, 1998.

I nærværende arbejde har den systemiske forskning omfattet:

1. Sammensætning af eksperter (ekspertgruppen)
2. Systemidentifikation, forenkling og identifikation af forskningsprojekt

Disse trin beskrives i det følgende.

Sammensætning af ekspertgruppe

Et væsentligt element i den systemiske forskning er, at synsvinklen i sig selv er afgørende for resultatet. Derfor er det vigtigt, at der inddrages et passende antal forskellige synsvinkler, hvilket kan opnås gennem sammensætningen af ekspertgruppen. FØJO's bestyrelse og brugerudvalg har udvalgt en række personer ud fra deres forskellige forskningsfaglige ekspertise samt interesse for og kendskab til grundvandsbeskyttelse, næringsstofomsætning og økologisk jordbrug (se Tabel 1).

For god ordens skyld bør det nævnes, at eksperterne i relation til de efterfølgende kapitler alene har bidraget med eventuelle kommentarer og bilag, mens det er de nævnte forfattere, der har ansvaret for indholdet i kapitlerne.

Systemidentifikation, forenkling og identifikation af forskningsprojekt

Der er holdt 3 møder i ekspertgruppen i december 1999, marts 2000 og september 2000. På det første møde i projektet blev der udvalgt 3 undersøgelsesområder: Havdal på Djursland, Bolbro i Sønderjylland og Eggeslevmagle på Sydvestsjælland. Med henblik på at opnå synergieffekter fra andre projekter blev der udvalgt områder, som allerede var godt undersøgt. Der blev opstillet 4 kriterier for udvælgelsen af disse 3 områder:

- 1) Nitrat og/eller pesticidfølsomt indvindningsområde,
- 2) Området var kortlagt med hensyn til jordbundsforhold, geologi, hydrogeologi, vandkemi etc.,
- 3) Nedsivnings- og grundvandsmodel var opstillet for området og
- 4) Landbrugspraksis var undersøgt i området

I alle tre udvalgte områder er der lavet hydrologisk modellering med MIKE SHE. Bolbro i Sønderjylland er både et LOOP (landovervågningsområde) og et GRUMO (grundvandsovervågningsområde) område. Havdal er et GRUMO område, og der er foregået flere projekter, hvor nitratudvaskningen er undersøgt ved forskellige typer miljøvenlig landbrugspraksis. Eggeslevmagle er også et GRUMO område, og både hydrogeologiske og geokemiske forhold er undersøgt i mange projekter. Tilsammen repræsenterer de vigtige hydrogeologiske grundvandsforhold i Danmark med forureningsproblemer, der stammer fra landbruget. Bolbro udgør et hedesletteområde med bakkeøer. Her er det øvre grundvandsreservoir i hedeslette-sandet belastet med nitrat og anden forurening fra landbruget, mens det nedre, beskyttede reservoir ikke har forureningsproblemer. Havdal er et moræneplateaumråde gennemskåret af dalsystemer. Området er et nitratfølsomt indvindningsområde med et ubeskyttet grundvandsmagasin i kalk. Eggeslevmagle er et bakket morænelandskab, hvor forekomst af sandvinduer op til overfladen resulterer i risiko for nitratforurening af det primære grundvandsmagasin af smeltevandssand.

Tabel 1 Ekspertgruppens sammensætning

	Navn og institution
Forvaltning og lovgivning	Lærke Thorling, Århus Amt Steffen Kristensen, Århus Amt Richard Thomsen, Århus Amt Jørgen Nicolaisen, Sønderjyllands Amt Lise Christiansen, Plantedirektoratet Kitt Bell Andersen, Skov og Naturstyrelsen Eivind Hansen, Skov og Naturstyrelsen Bente Villumsen, Miljøstyrelsen
Geologi, hydrogeologi, geokemi	Jens Baadsgaard Pedersen, Water Tech Knud Damgaard Christensen, COWI Bo Lindhardt, GEUS Hans Jørgen Henriksen, GEUS Vibeke Ernstsen, GEUS Lars Troldborg, DTU/GEUS Mette Thorsen, DHI Birgitte Hansen, FØJO
Vandmiljø og -kvalitet	Claus Vangsgaard, Danske Vandværkers Forening Hans Christian Bruun Hansen, KVL Hans Løkke, DMU Ruth Grant, DMU
Agronomi	Niels Halberg, DJF Tommy Dalgaard, DJF Tove Heidmann, DJF Christian Thirup, Water Tech
Natur og landskab	Vibeke Langer, KVL Ellen Hjort Petersen, Naturrådet Sybille Kyed, LØJ Sven Nybo, LØJ Henrik Vejre, KVL Per Gundersen, FSL

DHI:	Dansk Hydraulisk Institut
DJF	Danmarks JordbrugsForskning
DMU:	Danmarks Miljøundersøgelser
DTU:	Danmarks Tekniske Universitet
FSL:	Forskningscentret for Skov og Landskab
FØJO:	Forskningscenter for Økologisk Jordbrug
GEUS:	Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
KVL:	Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole
LØJ:	Landsforeningen Økologisk Jordbrug

På det andet møde i ekspertgruppen blev koncepter og metoder identificeret til brug for løsningen af den valgte problemstilling omkring økologisk jordbrugs potentiale for beskyttelse af grundvandet i de valgte områder. Der blev præsenteret et koncept for geokemisk beregning af nitratreduktionskapaciteten, som bygger på en række tilgængelige oplysninger om blandt andet topografiske forhold, morfologiske landskabselementer, jordbundsdata, jordartsdata, oplysninger om geologiske materialer, sprækkedata samt vandkemiske data. Disse oplysninger skal behandles og sammenstilles ved brug af blandt andet GIS værktøjer. Desuden blev der præsenteret et koncept for hydrologisk modellering ved hjælp af 3D grundvandsmodellen MIKE SHE. Vandets transportveje og opholdstider i grundvandet og dermed relationer mellem rodzonevandet og det drikkevand, som indvindes, tænkes modelleret ved hjælp af partikelbanemodelleringer i MIKE SHE. Sammenkobling af det geokemiske og hydrologiske koncept kan bruges til udpegning af sårbare områder, hvor det, af hensyn til grundvandskvaliteten, er særlig påkrævet med en skånsom landbrugsdrift. Der blev ligeledes præsenteret et koncept til modellering af nitratkoncentrationer i perkulations- og grundvand under de forskellige driftsformer. Der kan gøres brug af den 1-dimensionelle geokemiske ligevægtsmodel PHREEQC 2.0, som tænkes anvendt på 1-2 konceptuelle modeller for hver af de udvalgte områder. De konceptuelle modeller vil udgøre en forenklet fremstilling af den hydrogeokemiske opbygning af hvert udvalgt område.

Oprindeligt var det tanken at inddrage andre miljø- og naturforhold end forbedring af grundvandskvaliteten i videnssynesen, hvilket blev drøftet på det første møde i ekspertgruppen. På det andet møde blev det imidlertid besluttet, at disse aspekter skulle være mindre fremtrædende, da sideløbende foregik en videnssynese omkring naturkvalitet og økologisk jordbrug. Det er dog vigtigt at der i de kommende indsatsplaner for beskyttelse af grundvandet integreres mange typer miljø-, natur- og landskabshensyn.

Det blev besluttet at fokus i projektet skulle være på kvælstof, idet de største miljøproblemer i øko-

logisk jordbrug er knyttet til kvælstofab. Eventuelle andre stoffeffekter i grundvandet ved omlægning til økologisk jordbrug, såsom mobilisering af tungmetaller eller udvaskning af afgrødernes naturlige forsvarsstoffer, inkluderes derfor kun som noget sekundært.

Efter det andet møde er der arbejdet med at finde en N-udvaskningsmodel, som er velegnet på mark-/sædskifteniveau i et hydrologisk opland. Modellen skal både kunne håndtere økologisk og konventionel landbrugspraksis. Eksisterende modeller som DAISY og Simmelsgaard II har vist sig ikke på tilfredsstillende vis at kunne simulere N-udvaskningen fra afgræsningsmarker, som hyppigt anvendes i økologiske brug, der p.t. er domineret af kvægbrug. Der findes derfor på nuværende tidspunkt ikke nogle velegnede N-udvaskningsmodeller til økologisk jordbrug. I videnssyneseprojektet er der arbejdet med at undersøge tidshorisont og muligheder for forbedring af en nitratudvaskningsmodel, der er velegnet på oplandsniveau.

Der er ligeledes arbejdet med et koncept for beregning af N-balancer i de udvalgte områder. Her tænkes anvendt databaserutiner udviklet i ARLAS (projekt under forskningsprogrammet: Arealanvendelse – jordbrugeren som landskabsforvalter). Der er ligeledes arbejdet med strategier for omlægning af landbruget til økologisk drift i de 3 udvalgte områder. Her kan der anvendes erfaringer fra FØJO I projekt I.8 "Samfunds- og miljømæssige konsekvenser af forskellige strategier for udvikling og udbredelse af økologiske jordbrugssystemer".

Udviklingen af den simple nitratudvaskningsmodel på oplandsniveau kunne ikke nås inden for rammerne af videnssyneseprojektet. Videnssynesens oprindelige formål er derfor ikke nået, og man er ikke nået frem til en endelig konklusion af grundvandskvaliteten ved omlægning til økologisk jordbrug.

Arbejdet i ekspertgruppen har imidlertid ført til, at vigtige hypoteser og problemstillinger blev identificeret. Disse kan følges i et nyt forskningsprojekt, idet der i FØJO II er afsat ca. 4 mio. kr. til

gennemførelsen af et forskningsprojekt vedrørende regional grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug. Nogle hypoteser og problemstillinger egner sig til processtudier andre til oplandsstudier. Arbejdet i ekspertgruppen blev afsluttet med en rammebeskrivelse for et FØJO II projekt med titlen: "Udvikling af økologiske jordbrugssystemer til følsomme grundvandsindvindingsområder (ØJ+). Projektets titel og formål tager udgangspunkt i et fremsendt (11. oktober 2000) EU-projekt (OF+) under det 5. rammeprogram 1998-2002, "Quality of Life and Management of Living Resources".

Rapportens formål

Det overordnede formål med nærværende rapport er at give en status omkring grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug. Først beskrives

arbejdet i videnssynthesen (kapitel 1). Dernæst gives der en generel beskrivelse af problemstillinger, der vedrører grundvandsbeskyttelse og økologisk jordbrug. Dette gøres ved at give en status over forureningsproblemer i grundvandet i Danmark, som stammer fra landbruget (kapitel 2), at beskrive hvordan man beskytter grundvandsressourcen i Danmark (kapitel 3), at beskrive forskellige hydrologiske forholds indvirkning på grundvandskvaliteten (kapitel 4), at give en status over resultater omkring kvælstofkoncentrationer i nedsivningsvandet ved omlægning til økologisk jordbrug (kapitel 5) og beskrive flere regionale undersøgelser omkring N-udvaskningen fra økologisk jordbrug (kapitel 6). Til sidst i rapporten fremhæves vigtige hypoteser og problemstillinger for et fremtidigt forskningsprojekt omkring grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug (kapitel 7.

2 Landbrugets forurening af grundvandet i Danmark

Grundvandet i Danmark overvåges ved hjælp af oplysninger om kvalitative vandanalyser fra grundvandsovervågningsområder (GRUMO), landovervågningsområder (LOOP) og vandværkernes boringskontrol. Nitrat, pesticider og deres nedbrydningsprodukter er de vigtigste stoffer i grundvandet, der kan stamme fra landbruget. En opgørelse af pesticidfund i terrænnært grundvand i ikke-bynære grundvandsovervågningsområder viser en ligelig fordeling af landbrugsanvendte og ikke-landbrugsanvendte pesticider. Den overvejende del af de fundne stoffer er i dag forbudte eller regulerede (Underudvalget om Sundhed og Miljø, 1999). Nitraten, som findes i grundvandet, stammer langt overvejende fra gødsning i landbruget.

Nitratforurening af grundvandet

Omkring 500 især mindre vandværker er blevet lukket inden for de seneste 10 år (Pedersen, 1998). I 1997-98 udførte Miljøstyrelsen en undersøgelse, som antyder, at der lukkes 10-12 vandværksboringer om året på grund af højt indhold af nitrat. Antallet kan blive noget højere i de kommende år, da nuværende dispensationer fra grænseværdien ikke fornyes, når de udløber. Derfor vil vandværker, som i dag leverer vand med for højt indhold af nitrat, være nødsaget til at lukke boringer. Derudover er der lukket et større antal boringer og brønde, der har forsynet en enkelt eller nogle få ejendomme, på grund af forurening af det højtliggende grundvand med nitrat (personlig kommunikation: Bente Villumsen).

Omkring 60% af overvågningsboringerne og 66% af vandforsyningsboringerne indeholder ikke nitrat over den anvendte detektionsgrænse på 1

mg L⁻¹. 25% af overvågningsboringerne indeholder mere nitrat end den vejledende grænseværdi for drikkevand på 25 mg L⁻¹ og 17% mere end tilladeligt i drikkevand (50 mg L⁻¹). Tilsvarende indeholder 9% af vandforsyningsboringerne nitratkoncentrationer over 25 mg L⁻¹ og 3% over 50 mg L⁻¹. Det lavere tal for vandforsyningsboringer skyldes lukningen af mange vandforsyningsboringer med højt nitratindhold. Amter i det såkaldte nitratbælte (Nordjylland, Viborg og Aarhus) samt Ribe Amt har de største problemer med nitrat i vandforsyningsboringer. Der er generelt ikke sket noget fald i nitratkoncentrationerne i grundvandet siden vedtagelsen af Vandmiljøplanen i 1987 (GEUS, 1999).

Ifølge zoneringsvejledningen fra Miljøstyrelsen skal udpegningen af følsomme indvindingsområder ske stofs specifikt. Dette er på nuværende tidspunkt kun muligt for nitrat. I den statslige udmelding til regionplan 2001, som amterne udarbejder, er der stillet krav om udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder. Dyrkning af jorden medfører i områder, hvor der ikke findes tilstrækkelig reduktionskapacitet over for nitrat i dæklagen eller i grundvandsmagasinet, at grundvandets indhold af nitrat i disse områder er højt eller stigende og stedvis overskrider grænseværdien for nitrat. Disse områder kan identificeres ud fra det aktuelle nitratindhold i grundvandet samt kendskab til den geologiske, hydrogeologiske og geokemiske karakter af rodzone, perkolationszone og grundvandsmagasin (Tabel 2). En vejledning om indsatsplaner for nitrat er under udarbejdelse. En vigtig del af denne går ud på at opstille værktøjer, som kan bruges til beregning af jordlagenes reduktionskapacitet over for nitrat (personlig kommunikation, Vibeke Ernstsen).

Tabel 2 Parametre til vurdering af sårbarheden af grundvandskvaliteten i et lokalt landbrugsområde i Danmark i relation til karakter af rodzone, perkolationszone og grundvandsmagasin (modificeret efter GEUS,1995) og Miljøstyrelsen, 2000)

Rodzone	Perkolationszone	Grundvandsmagasin
Nedbør og fordampning	Teksturel og strukturel sammensætning	Mineralogisk sammensætning f.eks. reduktionskapacitet overfor nitrat (pyrit, brunkul etc.)
Jordbundens tekstur	Udbredelse og sammenhæng af dæklag (forekomst af sandvinduer)	Opholdstid/permeabilitet/alder
	Tykkelse af perkolationszone og dæklag	
	Mineralogisk sammensætning – f.eks. reduktionskapacitet overfor nitrat (pyrit, brunkul etc.)	
	Strømningsmønstre og transportveje (sprækker, makroporer, lithologiske skift)	
	Permeabilitet/nedsivningshastighed	
	Størrelse af grundvandsdannelsen	

Pesticidforurening af grundvandet

Pesticidrester er fundet i alle dele af det hydrologiske kredsløb, hvor der er lavet undersøgelser: regnvand, jordvand, drænvand, vandløb, vandhuller, søer og i grundvand og ligeledes i fødevarer.

Pesticider og deres nedbrydningsprodukter findes hovedsagelig i det yngre grundvand, idet man observerer faldende koncentrationer, jo dybere prøverne er udtaget i grundvandsmagasinet (Underudvalget om Sundhed og Miljø, 1999). I landovervågningsoplandene med borer i 1,5-5 meters dybde er der fundet pesticider og deres nedbrydningsprodukter i 46% af de undersøgte filtre, og grænseværdien for drikkevand er overskredet i 10% af filtrene. I terrænnært grundvand, i intervallet 0-20 meter under terræn, er der fundet pesticider og deres nedbrydningsprodukter i 35% af de undersøgte filtre, og grænseværdien for drikkevand er overskredet i 20% af filtrene. I vandværkernes boringskontrol er der fundet pe-

sticider og deres nedbrydningsprodukter i 23% af de undersøgte borer, og i 9% af borer er grænseværdien for drikkevand overskredet (GEUS, 1999).

Nedbrydningsproduktet 2,6-dichlorbenzamid, kaldet BAM, er det hyppigst fundne stof. BAM er fundet i 26% af vandforsyningsboringerne og grænseværdien for drikkevand er overskredet i 11% af de undersøgte borer. I landovervågningen er der ikke fundet meget BAM, hvilket kunne indikere, at forureningen med BAM ikke er et landbrugsfænomen, men skyldes sprøjtning i bynær bebyggelse, langs veje og jernbaner og på gårdspladser. Triaziner og nedbrydningsprodukter er en anden gruppe, der er fundet i grundvandet i endnu større mængder end BAM, men med en lidt anden forekomst idet disse stoffer er fundet meget hyppigt i landbrugsområder. I landovervågningen udgør triaziner og deres nedbrydningsprodukter næsten halvdelen af alle fundne pesticider og nedbrydningsprodukter. Glyphosat, fra sprøjtemidlet Round-up, og dets nedbrydnings-

produkt AMPA er fundet med høj fundprocent i såvel vandløbs- som drænanalyser, og stofferne er ligeledes fundet i en del terrænnære grundvandsmagasiner. I enkelte tilfælde er stoffet også fundet i dybereliggende magasiner. Der er endnu kun udført forholdsvis få analyser af disse stoffer. I 1999 er der blevet foretaget godt 450 analyser af omkring 375 filtre (GEUS, 1999).

Nyere forskning fra Grundvandsgruppen under SMP har vist, at pesticider på lerlokaliteter transporteres gennem rodhuller og sprækker til mindst 5 m dybde, og at disse strukturer er de aktive strømningsveje til mindst 10 m dybde. Hermed er en af årsagerne til den udbredte påvirkning af det øvre grundvand dokumenteret, samt til at en række stoffer opfører sig anderledes end forventet. Studierne har desuden vist, at nedbrydningspotentialet for en række pesticider eller deres nedbrydningsprodukter er meget lille i vigtige grundvandsmagasiner. Pesticidforureningen må derfor forventes at påvirke drikkevandskvaliteten i årtier, og resultaterne peger på, at forsigtighedsprincippet må fastholdes ved vurdering af pesticider. Ligeledes er der påvist stor variabilitet i de danske jordlag med hensyn til de parametre, der har betydning for pesticidtransport og -omsætning. Der er også udviklet integrerede modelværktøjer, der kan give kvantitative og mere realistiske oplysninger om pesticiders udvaskning, transport og omsætning (Rosbjerg og Fredericia, 2000).

Det er i dag ikke muligt generelt at udpege særlige pesticidsårbare områder, men visse områder er åbenbart sårbare. Dette gælder f.eks. magasiner beliggende i områder med klippegrund og indvindinger på mindre øer, hvor grundvandet ligger højt (personlig kommunikation, Claus Vangsgaard). De nitratfølsomme indvindingsområder er typisk områder med stor grundvandsdannelse og lille reduktionskapacitet over for nitrat, og disse områder er ikke nødvendigvis også pesticidfølsomme. De strukturerede lerjorde (med dræn), som findes i morænelersområderne på øerne, er risikoområder for pesticidforurening af grundvandet. Der er konstateret stor transport af pesticider i 1-2 meters dybde i disse områder; men der mangler viden om pesticidernes skæbne og eventuelle videretransport til grundvandsmagasinet. Der er behov for mere viden på følgende felter: 1) forståelse af de betydende faktorer for pesticidudvaskningen, 2) variation i de centrale parametre og 3) opskalering af parametre. En vejledning, som angiver retningslinier for udpegning af pesticidfølsomme områder har høj prioritet hos GEUS i fremtiden, og et koncept, der skal bruges som virkemiddel i forbindelse med Pesticidhandlingsplan II (personlig kommunikation, Bo Lindhardt), planlægges færdiggjort for sandjorde i 2003 og lerjorde i 2006.

3 Beskyttelse af grundvandsressourcen i Danmark

Grundvandsstrategi

Beskyttelse af grundvand og drikkevand i Danmark har høj prioritet. Grundvandskvaliteten skal bevares og opretholdes, sådan at der kan leveres drikkevand efter en simpel vandbehandling af grundvandet (Villumsen, 1999).

I de senere år har der været en voksende erkendelse af, at det rene grundvand ikke kan bevares uden en aktiv beskyttelsesindsats på jordoverfladen både fra punkt- og fladekilder. Det grundlæg-

gende synspunkt i den danske grundvandsbeskyttelse er, at alt grundvand, som indvindes til vandforsyning, skal beskyttes. Dog er det nødvendigt med en prioriteret indsats.

Miljøstyrelsen indledte arbejdet med en grundvandsstrategi i begyndelsen af 1990'erne. Grundvandsstrategien blev udmøntet i regeringens 10-punktsprogram, som blev fremlagt i Folketinget i december 1994 (Tabel 3).

Tabel 3 Regeringens 10-punktsprogram til beskyttelse af grundvand og drikkevand (december 1994)

-
1. Særligt miljøskadelige pesticider fjernes
 2. Pesticidafgift – forbruget af andre pesticider skal halveres
 3. Nitratforureningen skal halveres inden år 2000
 4. Økologisk jordbrug skal fremmes
 5. Beskyttelse af særlige drikkevandsområder
 6. Ny jordforureningslov – affaldsdepoterne skal ryddes op
 7. Øget skovrejsning og naturgenopretning skal beskytte grundvandet
 8. En forstærket indsats i EU
 9. Bedre kontrol af grundvand og drikkevand
 10. Dialog med landbruget
-

10-punktsprogrammet lægger op til udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser. Det er områder, hvor grundvandsmagasinerne skal udgøre grundlaget for den fremtidige vandforsyning. Miljøstyrelsen udgav i 1995 en vejledning om udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser. Denne vejledning lægger op til, at der efterfølgende skal ske en kortlægning og zo-

nering af områderne for at differentiere grundvandsbeskyttelsen. Arbejdet med en zoneringsvejledning blev sat i gang i foråret 1996. Udpegningen blev gennemført af amterne i regionplan 1997, idet ca. 15.000 km² blev udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser (35% af Danmarks areal).

Drikkevandsudvalget og den nye lov

Drikkevandsudvalget blev nedsat i foråret 1996 med det formål at forestå et udredningsarbejde på drikkevandsområdet. Udvalget blev bedt om at se på vandforsyningsstrukturen og på beskyttelsen af grundvandet, og der blev stillet i udsigt, at hvis der viste sig behov for det, ville der blive iværksat et egentligt lovarbejde på grundlag af udvalgets anbefalinger (Villumsen, 1999).

Drikkevandsudvalgets betænkning lå klar ved årsskiftet 1997/98 (Miljøstyrelsen, 1998). Betænkningen rummer, på baggrund af redegørelser for de enkelte områder, en række anbefalinger om planlægning af grundvandsbeskyttelsen, håndteringen af forskellige forureningskilder, kortlægning og overvågning af grundvandet samt organisering af vandforsyningen.

Udvalgets anbefalinger blev i sommeren 1998 udmøntet i lov om beskyttelse af drikkevandsressourcer og vandforsyning, som omfatter ændringer af vandforsyningsloven, miljøbeskyttelsesloven og planloven (lov nr. 479 af 1. juli 1998).

Den supplerende grundvandsbeskyttelse og zoneringen er udvidet til ikke kun at omfatte områder med særlige drikkevandsinteresser, men også indvindingsområder uden for disse, som amtsrådet finder det hensigtsmæssigt at give en særlig prioritet.

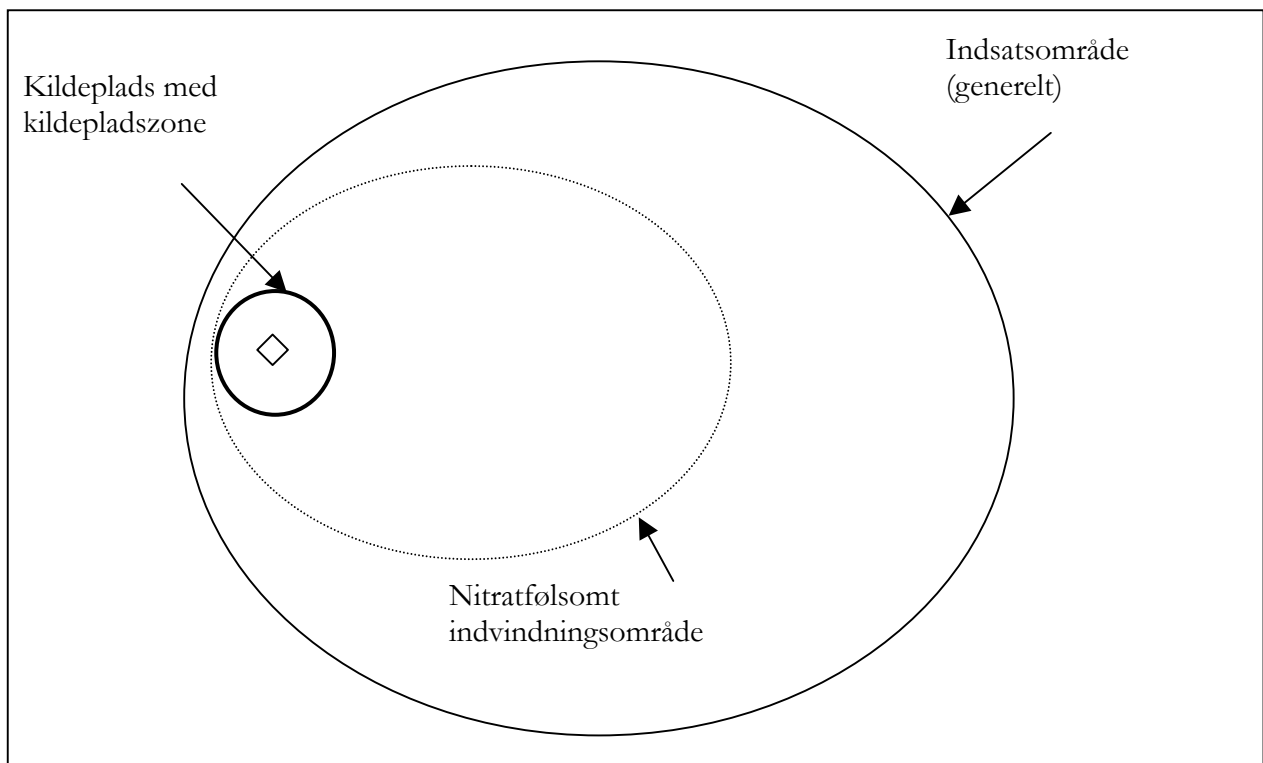
Regionplan 2001

Amterne udarbejder en samlet plan for tilrettelæggelse og prioritering af indsatsen mod grundvandsforurening. En første prioritering af indsatsen skal ske i regionplan 2001. Amterne etablerer desuden et forum for samarbejde og koordination mellem de involverede myndigheder og interessenter (Villumsen, 1999).

I regionplanen skal der udpeges *indsatsområder*, som er områder, hvor der ud over den generelle grundvandsbeskyttelse for at sikre den fremtidige drikkevandsforsyning skal iværksættes en særlig indsats. Et indsatsområde kan være et område med særlige drikkevandsinteresser eller en hydrologisk afgrænset del heraf, eller det kan være et indvindingsopland til en vandforsyning. For hver indsatsområde udarbejdes der en indsatsplan, der er en detaljeret plan for indsatsen mod forureningskilderne i området.

Dernæst skal der udpeges *følsomme indvindingsområder*, som er dele af det generelle indsatsområde. Specielt skal der udpeges *nitratfølsomme indvindingsområder*. Denne udpegning skal i første omgang ske ud fra data, som allerede findes i amterne.

Som eksempel ses i figur 1 indsatsområdet for det grundvandsdannende område for et magasin, hvorfra der indvindes på den viste kildeplads. Omkring kildepladsen er beskyttelsesområdet indtegnet som en kildepladszone med en radius på 300 meter. Indvindingsområdet til kildepladsen er udpeget som nitratfølsomt indvindingsområde ud fra eksisterende oplysninger om vandkvalitet og indledende vurdering af grundvandsdannelsen (Miljøstyrelsen, 2000).



Figur 1 Principskitse til illustration af anvendte områdebetegnelser i regionplan 2001 (modificeret efter Miljøstyrelsen, 2000)

Zonering og grundvandsbeskyttelsen de næste 10 år

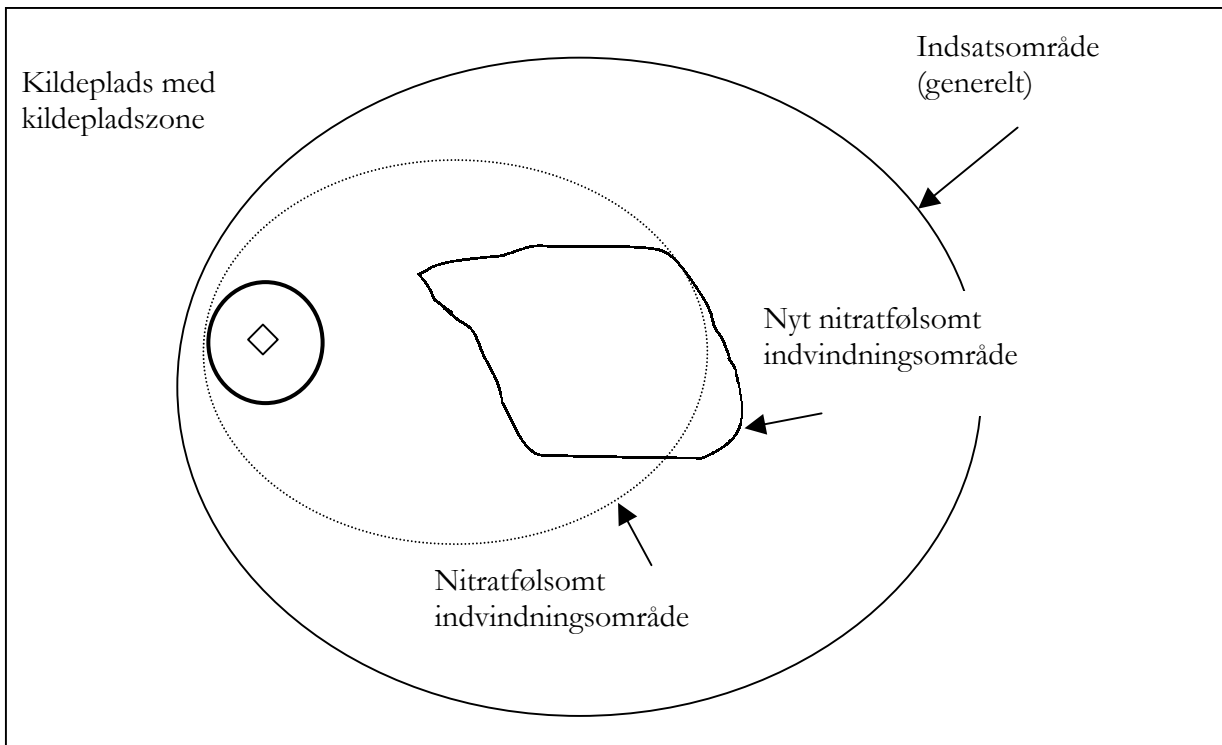
Såvel lovgivningen som drikkevandsudvalgets betænkning sigter på, at den supplerende grundvandsbeskyttelse skal målrettes mod de arealer på jordoverfladen, hvor der er størst risiko for at forurening når grundvandet. Det er derfor nødvendigt at identificere disse områder igennem detaljerede undersøgelser af hydrogeologi og grundvandsdannelse (Villumsen, 1999).

Områder med særlige drikkevandsinteresser og indvindningsoplande til almene vandværker uden for disse, som er særligt følsomme over for en eller flere typer forurening, skal derfor detailkortlægges. Kortlægningen skal skabe grundlag for indsatsplanerne, herunder for at ændre arealanvendelsen, der hvor det er nødvendigt. Kortlægningen forestås af amterne de næste 10 år. Kortlægningen og områdeudpegningen beskrives i en vejledning om zonering (Miljøstyrelsen, 2000). Kravene til indholdet af og proceduren for udarbejdelse af indsatsplaner vil blive beskrevet i en bekendtgørelse, der er under udarbejde.

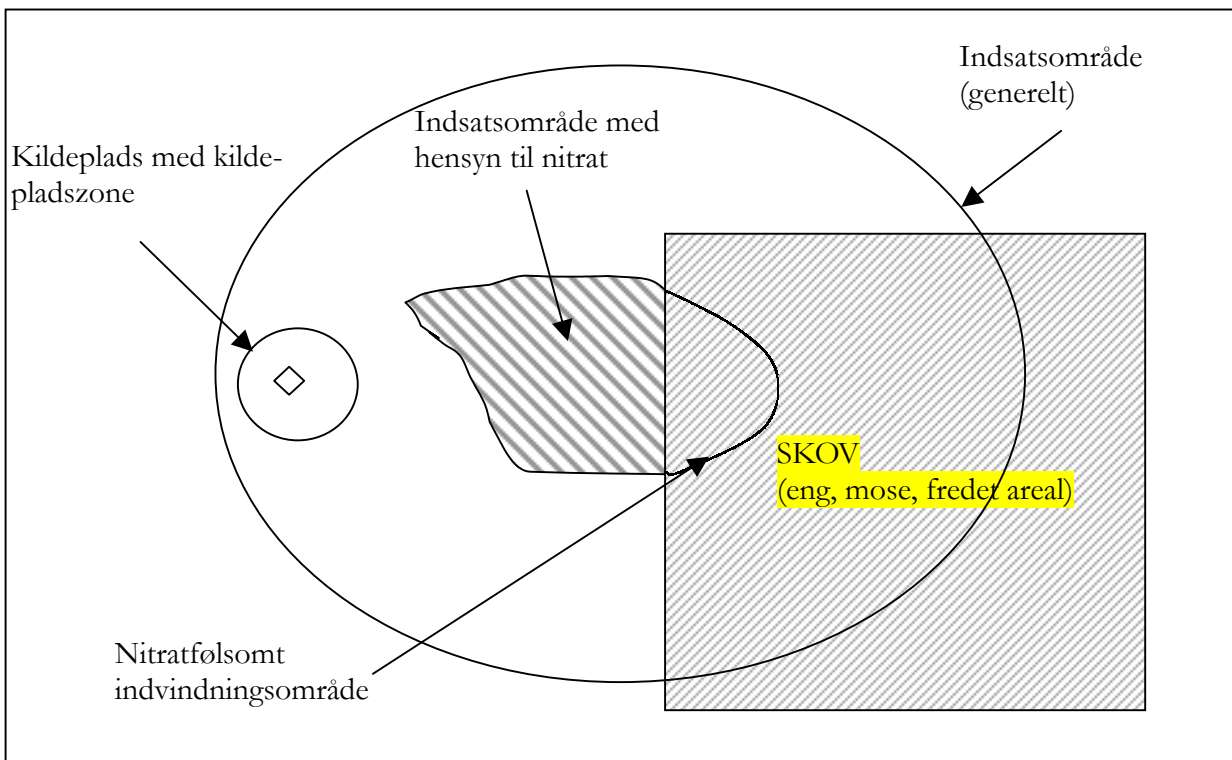
I figur 2 ses et eksempel på indsatsområdet efter detailkortlægningen. Detailkortlægningen har vist, at det sårbare område kun udgør en mindre del af det udpegede følsomme indvindningsområde. Der er dermed udpeget et nyt, mindre nitratfølsomt indvindningsområde.

Ud fra en vurdering af hvorvidt det er nødvendigt at reducere nitratbelastningen i det sårbare område, træffes der beslutning om, hvorvidt der skal udpeges et *indsatsområde af hensyn til nitrat*. Eventuelle begrænsninger af nitratbelastningen beskrives i en indsatsplan (Miljøstyrelsen, 2000).

I figur 3 er det vist, hvordan grundlaget for en indsatsplan kan se ud. Da en betydelig del af det sårbare område er dækket af skov, er der kun brug for at udpege en del af området som indsatsområde med hensyn til nitrat. Det samme vil være tilfældet, hvis der er tale om f.eks. eng, mose, fredet areal eller andre anvendelser, hvor nitratbelastningen er minimal. Indsatsplanen vil herefter beskrive hvilken indsats, der skal foretages i indsatsområdet med hensyn til nitrat.



Figur 2 Resultatet af detailkortlægningen. Principskitse til illustration af anvendte zoner. Der skal tages stilling til, hvor den konkrete indsats skal ske (modificeret efter Miljøstyrelsen, 2000).



Figur 3 Eksempel på grundlaget for en indsatsplan. Det store generelle indsatsområde er stadig ramme for amtets planlægning. Samtidig er der udpeget et indsatsområde med hensyn til nitrat for at reducere nitratbelastning af grundvandet i dette område (modificeret efter Miljøstyrelsen, 2000).

Indsatsmuligheder med økologisk jordbrug

I indvindingsområder kan grundvandsbeskyttelsen på nuværende tidspunkt som udgangspunkt kun ske ad frivillig vej og ved planlægning, da områdernes udstrækning ikke er dokumenteret ved detailkortlægning endnu.

Særligt følsomme indsatsområder, som for eksempel indsatsområder med hensyn til nitrat, der er udpeget på baggrund af en detailkortlægning, skal også primært reguleres gennem frivillige aftaler. Der er dog her mulighed for pålæg mod erstatning jf. miljøbeskyttelseslovens § 26 a. Det er dog tvivlsomt, om myndighederne kan pålægge omlægning til økologisk jordbrug, selv om der kan pålægges restriktioner, der svarer til restriktionerne i økologisk jordbrug (personlig kommunikation: Claus Vangsgaard). Ifølge miljøbeskyttelseslovens § 19, stk. 6 og stk. 7, kan Miljø- og Energiministeren i områder, der i regionplanen er udpeget som indsatsområder med hensyn til nitrat, fastsætte regler om godkendelsesordninger for etablering eller udvidelser af husdyrhold og til

begrænsning af eller forbud mod tilførsel af husdyrgødning og slam (personlig kommunikation: Bente Villumsen).

Frivillige aftaler kan indgås i forbindelse med forskellige tilskudsordninger. For eksempel kan de nitratfølsomme indvindingsområder blive udpeget som skovrejsningsområder og særlige følsomme landbrugsområder (SFL-områder), hvor der eksisterer tilskuds- og støtteordninger til private jordbrugere. Der gives tilskud til omlægning til økologisk jordbrug over alt i landet, og tilskuddet kan forhøjes, hvis landbrugsarealerne ligger i et SFL-område. På denne måde udgør økologisk jordbrug en mulighed i de udpegede indsatsområder med hensyn til nitrat (Figur 3).

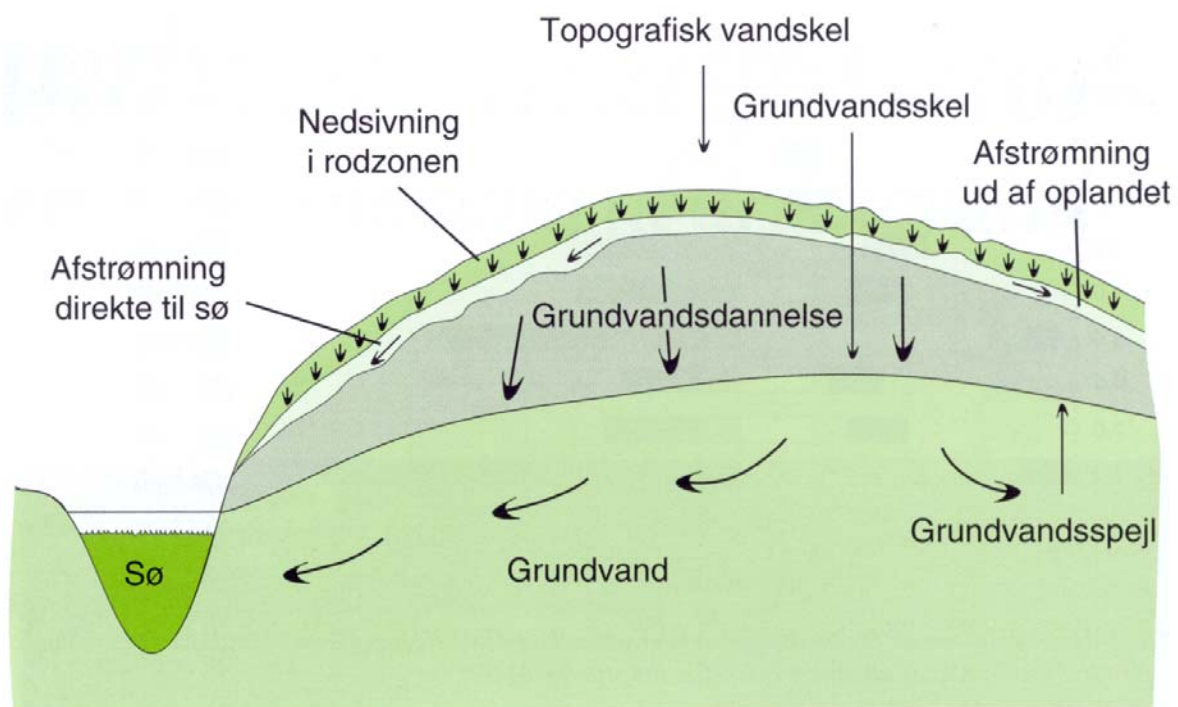
Indsatsområder med hensyn til pesticider vil udgøre et større areal af Danmark end indsatsområder for nitrat, idet hele indvindingsoplande må beskyttes. Dette vil i det mindste være tilfældet, indtil der er udarbejdet en vejledning, som angiver retningslinier for en udpegning af pesticidfølsomme indvindingsområder.

4 Hydrologiske forholds indvirkning på grundvandskvaliteten

Det hydrologiske kredsløb

Vandets kredsløb er styrende for den mængde grundvand, som dannes og dermed også for grundvandskvaliteten. Grundvandsdannelsen i et hydrologisk opland i Danmark vil være afhængig af de klimatiske forhold, vegetationstypen samt jordbunds- og geologiske forhold. De vigtigste klimatiske forhold for dannelse af grundvand er nedbørsmængderne og den aktuelle fordampning. Vegetationstypen har betydning for den aktuelle fordampning, både gennem bladarealet og rodudviklingen. En del af nedbøren afstrømmer horisontalt til åer og vandløb ved at løbe af direkte

oven på jordoverfladen ved kraftige regnskyl eller oven på lavpermeable lag i jorden. Den resterende del af nedbøren (perkolationsvandet) går til dannelse af grundvand (Figur 4). Danmark kan stort set opdeles i et område mod vest med sandede jorde og stor nedbør, og et område mod øst med lerjorde og mindre nedbør. Hvis man sammenligner oplande på henholdsvis lerjord og sandjord, viser det sig, at ca. 7% af nedbøren går til grundvandsdannelse på lerjorde mod ca. 40% på sandjorde (Ladekarl og Hansen, 1998).



Figur 4 Vandets vej til grundvandet

Vandets kredsløb har afgørende betydning for N-udvaskningen til grundvandet og N-transporten i vandløb som for eksempel registreret i Landovervågningsoplandene. Kvælstofnedrivningen fra rodzonen er i gennemsnit på 124 kg N/ha/år fra sandjordsoplandene og 69 kg N/ha/år fra lerjordsoplandene (Grant et al., 1999). Kvælstoftransporten og -omsætningen i perkulationszonen er ikke undersøgt, men vandløbenes transport af kvælstof er kun 11 kg N/ha/år i sandjordsoplandene mod 25 kg N/ha/år i lerjordsoplandene. Det skyldes for det første, at dannelsen af grundvand er større på sandjord og dermed, at kontakttiden mellem vand og sedimenter i undergrunden er større, inden vandet når vandløbet. For det andet er den horisontale afstrømning betydelig på lerjorde, f.eks. gennem dræn, og 14 kg N/ha/år når direkte frem til vandløbene. Ud over disse hydrologiske forhold har de geokemiske forhold afgørende betydning for reduktionen af nitrat. Smeltevands-sand indeholder f.eks. ofte pyrit, som er i stand til at reducere nitrat.

Nedsivning fra rodzonen

Vandhusholdningen i rodzonen og gødningsanvendelsen i landbrugssystemet er vigtig for en effektiv produktion af afgrøder. Især nitrat udvaskes let på grund af stoffets svage binding til faste overflader. Det er derfor vigtigt at have kontrol over vandbalancens komponenter i rodzonen (nedbør, vanding, feltkapacitet, fordampning, afstrømning og perkolation) for at reducere N-udvaskningen fra rodzonen (Heermann et al., 1989) og dermed påvirkningen på grundvandskvaliteten. Et stort potentiale for N-udvaskning forekommer, hvis der findes et overskud af kvælstof i rodzonen i forhold til planternes behov samtidig med, at der sker perkolation fra rodzonen på grund af stor nedbør og lille fordampning. Etablering af fangafgrøder har en markant reducerende effekt på indholdet af uorganisk N i jorden om efteråret og vinteren og dermed på risikoen for N-udvaskning (Aronsson og Torstensson, 1998; Thorup-Kristensen, 1994).

Typen af landbrugsafgrøder kan have betydning for størrelsen af grundvandsdannelsen, idet blad-

areal, rodudvikling og vækstforløb gennem året varierer. Samligninger af vandbalancen i rodzonen ved økologisk og konventionel dyrkning har ikke tidligere været foretaget. Man kan forvente en ændret aktuel fordampning ved omlægning til økologisk jordbrug, som kan have indvirkning på nitratkoncentrationen i rodzonen og dermed udvaskningen af nitrat til grundvandet. Denne formodede ændring i aktuel fordampning ved omlægning til økologisk drift vil være knyttet til brugen af efterafgrøder i efterår og vinter samt ændringer i hovedafgrødemassen (bladarealets størrelse og varighed).

Tidshorisont for forbedring af grundvandskvaliteten

Tidshorisonten for hvornår grundvandskvaliteten vil ændre sig som resultat af omlægningen fra konventionelt til økologisk jordbrug vil afhænge af de hydrologiske forhold såsom hvor meget vand der afstrømmer via de forskellige strømveje i det øvre grundvand (til dræn, via dybere grundvand m.m.), samt hvor stor en opholdstid vandet har på vejen fra rodzonen til det når frem til grundvandet og videre frem til vandmiljøet (vandløb, søer mv.).

Påvirkningen af grundvand og overfladevand med nitrat, der udvaskes fra landbrugsarealer, kan vurderes med en vifte af forskellige metoder varierende fra meget simple til meget avancerede metoder. De simple metoder tager generelt ikke hensyn til den årlige variation i klima, og de har normalt svært ved at inkludere effekter af forskellig landbrugspraksis på realistisk måde. De avancerede metoder forudsætter en omfattende parameterfastsættelse. Fra NPO og andre projekter har man i Danmark afprøvet et integreret modelsystem bestående af en DAISY model, der simulerer fordampning, infiltration, temperatur, plantevækst og nitrogenomsætning i rodzonen, og en MIKE SHE model, der simulerer transport af vand og opløste stoffer i den resterende del af den umættede zone og i grundvandsmagasinet (Storm et al., 1990; Styczen and Storm, 1993ab, Refsgaard et al., 1999). GEUS er i forbindelse med DK-model 2 i gang med at udvikle et operationelt system til vurdering af kvælstofpåvirkningen af vandmiljøet

og grundvandet på regional skala. Dette system tager afsæt i netop anvendelse af DAISY kombineret med en MIKE SHE/MIKE 11 grundvands- og vandløbsmodel.

Der er to grundlæggende problemer forbundet med at vurdere påvirkningen af grundvandskvaliteten som følge af ændret N-udvaskning fra rodzonen. Det ene problem er, at effekten bliver forsinket i op til flere år i overfladevandssystemet og op til flere årtier i de dybe grundvandssystemer. Denne konklusion er fremkommet som et resultat af nye modelstudier og understøttes for det dybe grundvands vedkommende af aldersdateringer. Det er derfor vigtigt at inkludere de overfladenære systemer såsom det øverste grundvand, dræn mv. i den tidsmæssige analyse. Det andet problem er, at klimatiske variationer i form af forskelle fra det ene år til det andet i nedbør og vintertemperaturer medfører meget store naturlige variationer i N-udvaskningen. Disse variationer kan forudsiges

typisk at være større end den ønskede effekt på N-udvaskningen af omlægning fra konventionelt til økologisk jordbrug. Det vil derfor være vanskeligt eller umuligt på et videnskabeligt sikkert grundlag at identificere en mulig ændring i grundvandskvaliteten, som kan henføres til konventionelt kontra økologisk jordbrug, fordi datagrundlaget indeholder de store klimatiske betingede naturlige variationer, der i denne sammenhæng optræder som "støjkilde". Modeller, som kan beregne den tidlige variation af N-udvaskningen på baggrund af klimadata og landbrugspraksis, kan hjælpe med at reducere denne naturlige "støjkilde", således at effekten af omlægningen til økologisk jordbrug optræder tydeligere og derfor lettere kan identificeres. Der er således ingen tvivl om, at en kombineret anvendelse af dynamiske modeller og monitoringsdata vil være den eneste måde at modellere ændringer i N-udvaskning og N-koncentrationer i grundvandet ved økologisk og konventionel dyrkningspraksis.

5 Kvælstofkoncentrationer i ned-sivningsvandet ved omlægning til økologisk jordbrug

I økologisk jordbrug er det en del af målsætningen at holde næringsstofkredsløbene så lukkede som muligt og blandt andet undgå udvaskning til vandmiljøet. Økologisk jordbrug udgør, på linie med naturlige økosystemer, en driftsform, som direkte beskytter grundvandet mod nedsivende pesticider og deres nedbrydningsprodukter, idet der er totalt forbud mod denne anvendelse. De største miljøproblemer er knyttet til tab af kvælstof.

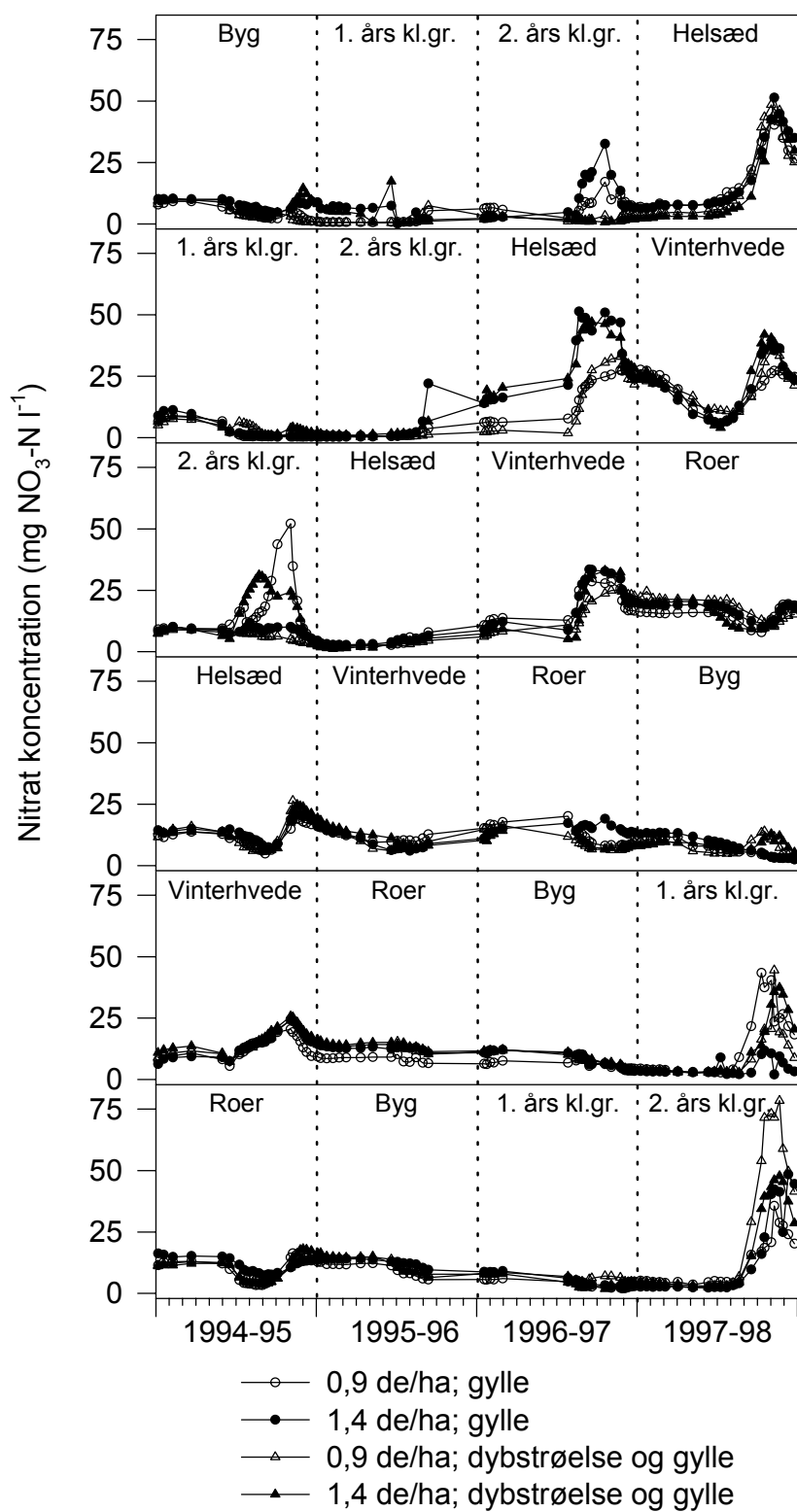
Den højest tilladelige grænseværdi for nitrat i drikkevand er ifølge EU's drikkevandsdirektiv og dansk lovgivning $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$, mens den vejledende værdi er på $25 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$. I nitratfølsomme indvindingsområder med landbrugsproduktion, hvor grundvandet skal beskyttes, kan en tilsvarende grænseværdi på $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ tilrådes for nitratkoncentrationen i nedsivningsvandet. Derved gøres der brug af forsigtighedsprincippet, idet der ses bort fra eventuel geokemisk nitratreduktion i perkulationszone og grundvandsmagasin. I dette afsnit vurderes kvælstofkoncentrationen i nedsivningsvandet fra økologisk jordbrug ud fra grænseværdisætningen på $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$.

Det økologiske kvægbrugssædskifte ved Foulum

Ved Foulum har der siden 1987 eksisteret et økologisk 6-markssædskifte på lerblandet sandjord (7,7% ler) orienteret mod malkekvæghold. Siden 1994 har der været gennemført et forsøg med blandt andet 2 forskellige gødningsniveauer ($0,9 \text{ De ha}^{-1}$ og $1,4 \text{ De ha}^{-1}$) og 2 forskellige gødnings typer (gylle og dybstrøelse + gylle).

N-udvaskningen er målt med sugecellemetoden med 4 gentagelser for hver af de 4 gødningsbehandlinger i hver mark (Askegaard et al., 1999). Der er ikke nogen signifikant forskel på N-udvaskningen fra de 2 forskellige gødnings typer. Periodelvis måles der høje nitratkoncentrationer med op til $75 \text{ mg NO}_3\text{-N per L}$ (ca. $330 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$) i nedsivningsvandet i 1 meters dybde fra markerne i sædskiftet (Figur 5). En stor del af tiden flukturerer nitratkoncentrationerne dog omkring $11 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ (ca. $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$), der er grænseværdien for nitrat i drikkevand. N-udvaskningen fra det økologiske sædskifte er lav uanset dyretæthed og gødnings type. I gennemsnit for perioden 1994-1998 var udvaskningen $38 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Tabel 4), og der ses en forskel i udvaskningen fra de 2 forskellige gødningsniveauer på kun $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Den gennemsnitlige udvaskning svarer til $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$, det vil sige, at det økologiske sædskifte i gennemsnit for den fireårige måleperiode medvirker til dannelse af nedsivningsvand med en nitratkoncentration på grænseværdien for nitrat i drikkevand.

Årlige forskelle i N-udvaskningen kan hovedsagelig tilskrives store fluktuationer i nedbørsforholdene i forsøgsperioden og dermed varierende perkulationsmængder (Tabel 4). Udvas kningstabe ne fra de enkelte marker er relateret til afgrødevalget og er størst i de første 3 år efter ompløjningen af kløvergræsmarkerne. Forsøget viser, at selvom kløvergræsmarkerne forårspløjes, er der stadig risiko for N-udvaskning de efterfølgende år (Askegaard et al., 1999).



Figur 5 Nitratkoncentrationer i perkulationsvand i 1 m dybde fra markerne i det økologiske sædskifte ved Foulum (Askegaard, 1999)

Tabel 4 Gennemsnitlige perkolationsværdier (mm år⁻¹) og nitratudvaskning (kg ha⁻¹ år⁻¹ og mg nitrat L⁻¹) fra det økologiske sædskifte ved Foulum (modificeret efter Askegaard, 1999)

	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	Gennemsnit
Mm år ⁻¹	578	64	208	338	297
Kg N ha ⁻¹ år ⁻¹	57	4	24	67	38
Mg NO ₃ -N L ⁻¹	10	6	12	20	12
Mg NO ₃ L ⁻¹	43	28	51	87	52

Langvarige økologiske sædskifteforsøg

I 1996/97 blev der anlagt et økologisk sædskifteforsøg på fire lokaliteter i Danmark – henholdsvis Jyndeved (grovsandet jord) i Sønderjylland, Foulum (lerblandet sandjord) i Midtjylland, Flakkebjerg (sandblandet lerjord) på Sjælland og Holeby (lerjord) på Lolland med det formål at belyse mulighederne for at dyrke økologisk korn til moden-

hed. Sædskifterne repræsenterer systemer med forskellige andele af korn og kvælstoffikserende afgrøder (Tabel 5). Sædskifterne afprøves på fire forskellige måder, henholdsvis med og uden brug af efterafgrøder og med og uden brug af husdyrgødning (Olesen et al., 2000).

Tabel 5 De fire sædskifter i forsøget med angivelse af gylletilførslen (kg N/ha/år) til afgrøderne i parentes (modificeret efter Olesen et al., 2000)

Sædskifte 1	Sædskifte 2	Sædskifte 3	Sædskifte 4
Vårbyg m. udlæg (50)	Vårbyg m. udlæg (50)	Vårbyg m. udlæg (50)	Havre (40)
Kløvergræs	Kløvergræs	Kløvergræs	Vinterhvede
Vårhvede (50)	Vinterhvede (50)	Vinterhvede (50)	Vinterhvede/triticale (70)
Lupin	Ært/byg	Sukkerroer (50)	Ært/byg

Nitratkoncentrationerne i jordvandet lå i området fra få mg NO₃/L til over 80 mg NO₃/L, med de højeste koncentrationer målt på de sandede jorde ved Jyndeved og Foulum (Tabel 6). Med kløvergræs var nitratkoncentrationerne lave på alle lokaliteter (<10 mg/L), hvorimod efterårsplojning og såning af vinterhvede efter kløvergræs medførte de højeste nitratkoncentrationer. Bug af fangafgrøder på Jyndeved mindskede nitratudvaskningen med 50-71% efter vinterhvede og med 24% efter ært/byg i 1997/98 (Askegaard et al., 2000).

Nedbørsmængderne de enkelte år har stor indflydelse på nitratkoncentrationerne i jordvandet, idet store nedbørsmængder medfører lave nitratkon-

centrationer og omvendt. Ved Holeby på Lolland for eksempel betød en relativt lav perkolation på 204 mm/år i 1997/98, at nitratkoncentrationen i gennemsnit var relativt høj for lerjordslokaliteten (63 mg NO₃/L).

Ud af de 4 lokaliteter, med varierende nedbørs- og jordbundsforhold, er det stort set kun på den grovsandede jord ved Jyndeved, at nedsvinningsvandet fra de økologiske sædskifter overstiger grænseværdien for nitrat i drikkevand. Anvendelse af fangafgrøder ved Jyndeved medfører, at nitratkoncentrationerne (40—68 mg NO₃/L) nærmer sig grænseværdien for nitrat i drikkevand på 50 mg NO₃/L.

Tabel 6 Udvaskning af nitrat (kg N/ha/år og mg NO₃/L) i 1997/98 og 1998/99 fra de 4 lokaliteter uden brug af fangafgrøder og med tilførsel af gylle i de langvarige økologiske sædskifteforsøg. Sugeceller er brugt til opsamling af jordvand. Tallene i parentes ved Jyndevad refererer til forsøg med brug af fangafgrøder. Sædskiftenr. referer til numrene i Tabel 5, hvor gødningstilførslen også ses (modificeret efter Askegaard et al., 2000)

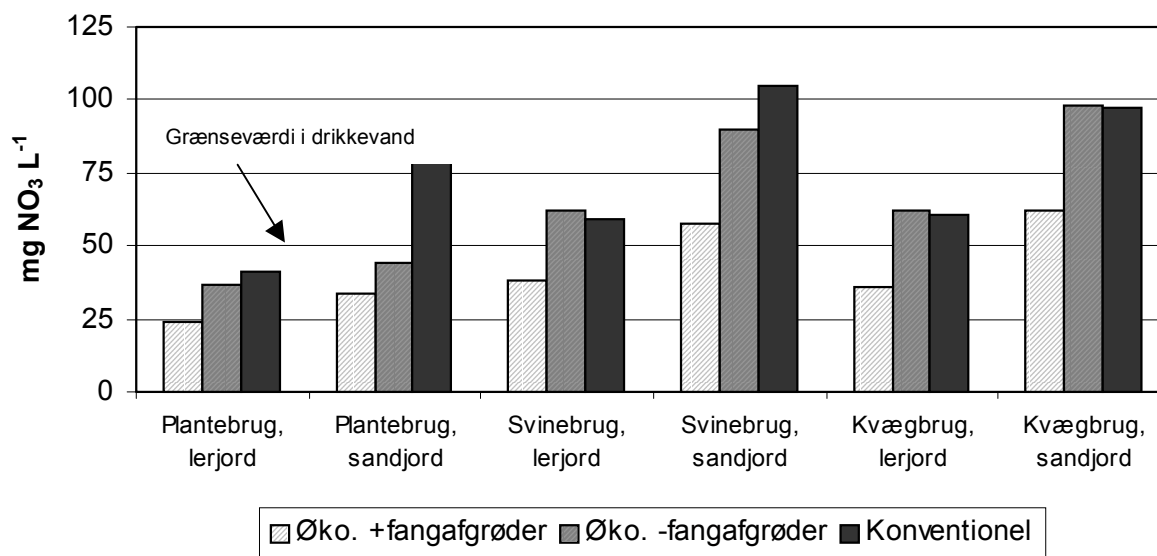
		Jyndevad	Jyndevad	Foulum	Flakkebjerg	Holeby	Holeby
	Jordtype	Grovsandet jord	Grovsandet jord	Lerblandet sandjord	Sandblandet lerjord	Lerjord	Lerjord
	Sædskiftenr.	1	2	2	2	3	4
1997/98	Perkolation (mm/år)	613	613	329	213	204	204
	Kg N/ha/år	110 (95)	114 (82)	42	10	16	29
	Mg NO ₃ /L	80 (68)	82 (59)	56	21	35	63
1998/99	Perkolation (mm/år)	883	883	396	325	335	335
	Kg N/ha/år	142 (121)	111 (81)	55	29	5	12
	Mg NO ₃ /L	71 (60)	55 (40)	61	39	7	16

Økologiske modelsædskifter

I flere undersøgelser (Hansen og Christiansen, 1998; Hansen og Kristensen, 1998; Heidmann et al., 2000; Hansen et al., 2000a) er der brugt økologiske modelsædskifter til vurdering af N-balancer og N-udvaskning fra økologiske brug. I alle undersøgelserne er der brugt en simpel empirisk model, hvor N-udvaskningen afhænger af perkolation, lerprocent i topjorden, gennemsnitligt N input til sædskiftet og en afgrødeparameter (Simmelsgaard, 1998), mens N-balancen er opstillet på markniveau.

I vidensynteseprojektet "Kvælstofudvaskning og –balancer i konventionelle og økologiske produktionsystemer" under FØJO (Kristensen og Olsen, 1998) blev økologiske modelbrug sammenlignet med landbrugspraksis i Landovervågningen (Grant et al., 1997) i 1996. Den modelberegnete N-udvaskning var mindre fra de økologiske (19-65 kg N ha⁻¹ år⁻¹) end fra de konventionelle brug (32-111 kg N ha⁻¹ år⁻¹), dels på grund af et lavere

totalt N input og afgrødevalget med maksimal brug af fangafgrøder i de økologiske sædskifter. I figur 6 er den modelberegnete N-udvaskning omregnet til mg nitrat per L. Der er medtaget to økologiske brugstyper (med (+) og uden (-) fangafgrøder), for at vise betydningen af et "godt" økologisk sædskifte. Brugstyperne med fangafgrøder er optimerede sædskifter med forudsat god driftsledelse, mens brugstyperne uden fangafgrøder repræsenterer dårlig tilrettelagte økologiske sædskifter. I økologiske brug med maksimal brug af fangafgrøder og god driftsledelse er nitratudvaskningen under grænseværdien for drikkevand (50 mg NO₃ L⁻¹) for planteavl på ler- og sandjord, svinebrug på lerjord og kvægbrug på lerjord, mens den ligger lidt over værdien for svinebrug og kvægbrug på sandjord. I økologiske produktionssystemer uden brug af fangafgrøder er nitratudvaskningen på niveau med konventionelle brugstyper, som for husdyrbrugene ligger over grænseværdien for nitrat i drikkevand.

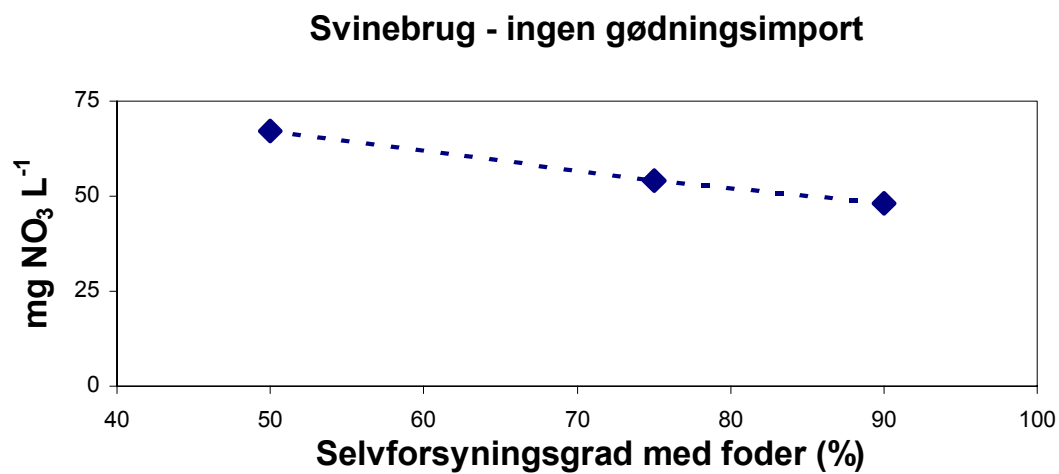


Figur 6 Modelleret N-udvaskning ($\text{mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$) fra konventionelle og økologiske brugstyper på sand- og lerjorde (modificeret efter Hansen et al., 2000a)

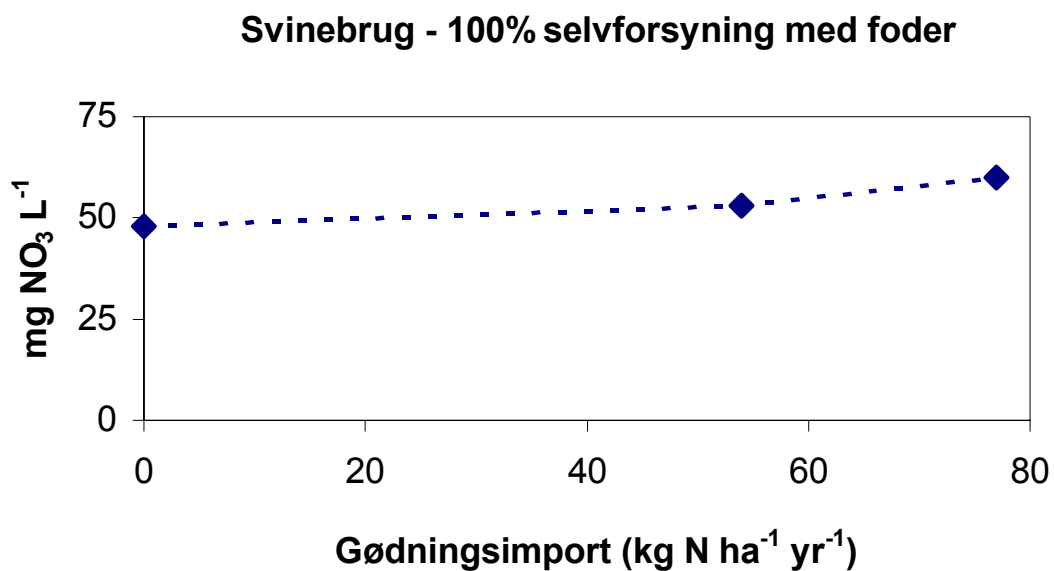
Anvendelse af den simple empiriske N-udvaskningsmodel (Simmelsgaard, 1998) er behæftet med en del usikkerhed, især for forskellige typer græsmarker. Videnssyntheseprojektet (Hansen og Kristensen, 1998) viste da også, at der er brug for mere viden om, hvad der regulerer N-udvaskningen i økologisk jordbrug på følgende områder: 1) opbygning og omsætning af organisk kvælstof i jorden i forskellige økologiske produktionssystemer, 2) effekten af forskellige typer fangafgrøder i det økologiske sædskifte og 3) en bedre operationel forståelse af N-udvaskningen fra forskellige typer økologisk dyrket græs og kløvergræsmarker.

Ifølge både dansk og EU lovgivning er der i økologisk jordbrug ikke noget krav om selvforsyningsgrad med foder. Indtil 2005 er det tilladt at

importere konventionelt foder (20% til enmavede dyr og 10% til drøvtyggere). Derefter kræver EU lovgivningen på området, at alt foderet skal være økologisk. Ligeledes må der ifølge den danske lovgivning maksimalt anvendes $140 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ husdyrgødning på en bedrift, hvoraf maksimalt $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ må være konventionelt. Specialisering i økologisk jordbrug i form af lav selvforsyningsgrad med foder og import af husdyrgødning har betydning for næringstofsbalancen i marken og dermed udvaskningen af nitrat (Hansen et al., 2000). Med hensyn til økologiske svinebrug på sandjord medfører en selvforsyningsgrad på 100% med foder og ingen gødningsimport til gården, at grænseværdien på $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ overholdes for nitratkoncentrationen i vandet, der forlader rodzonen (Figur 7 og 8).



Figur 7 Betydningen af selvforsyning med foder på udvaskningen af nitrat fra rodzonen på økologiske svinebrug (modelbrug) på sandjord uden gødningsimport (Hansen et al., 2000b)



Figur 8 Betydningen af gødningsimport på udvaskningen af nitrat fra rodzonen på økologiske svinebrug (modelbrug) på sandjord, der er 100% selvforsynende med foder (Hansen et al., 2000b)

Udenlandske undersøgelser

Der findes også kun få udenlandske undersøgelser, som har analyseret N-udvaskningen fra økologiske jordbrug.

I Holland har van der Werff et al. (1995) opstillet N-balancer og udregnet N-udvaskningen for 3 økologiske kvægbrug på sandjord. N-udvaskningen blev bestemt på baggrund af kemiske analyser af ekstraheret jordvand og måling af jordvandsindholdet. N tilførslen til markerne i de økologiske kvægbrug var i gennemsnit på 121 kg/ha/år med en husdyrtæthed mellem 0,6 og 1,6 De/ha. Overskuddet af kvælstof på gårdniveau var 83 kg/ha/år i gennemsnit for de økologiske kvægbrug sammenlignet med 391 kg/ha/år for konventionelle intensive kvægbrug på sandjorde i Holland. Det gennemsnitlige tab ved kvælstofudvaskning var kun 20 kg/ha/år (varierede fra 15-25 kg N/ha/år), svarende til en koncentration på 48 mg NO₃ L⁻¹, for de økologiske kvægbrug i Holland, som blev undersøgt i årene 1990-1992.

I en undersøgelse af Brandhuber og Hege (1992) blev nitratindholdet i 5-10 meters dybde i jorden (Nmin-metoden) undersøgt på 15 økologiske malkekvægbrug (gennemsnit 1,1 De/ha) i Bayern, Tyskland i årene 1988-1990. Nitratkoncentrationen i gennemsnit for de økologiske brug var 27 mg NO₃/L, som lå lavere end værdier for konventionelle brug i Bayern både uden husdyr (42 mg NO₃/L) og med husdyr (79 mg NO₃/L).

Stoltze et al. (2000) vurderer i en omfattende EU review-undersøgelse, at selvom dårlig økologisk driftsledelse kan resultere i risiko for forurening af grund- og overfladevand, så er nitratudvaskningen generelt lavere eller på samme niveau fra økologisk fra konventionelt jordbrug. Man må dog forvente, at forskelle i nitratudvaskning vil blive mindre i fremtiden, efterhånden som det konventionelle landbrug reguleres yderligere mod større miljøbeskyttelse.

6 Regionale undersøgelser af N-udvaskningen fra økologisk jordbrug

Der findes kun få undersøgelser på regionalt niveau, som omhandler N-udvaskningen fra økologisk jordbrug. For eksempel viser foreløbige resultater fra et EU-projekt ved et regionalt område ved Donau floden at udvaskningen fra økologisk jordbrug er lavere end fra konventionelt jordbrug. I nogle europæiske lande, som f.eks. Tyskland, er det en udbredt opfattelse, at grundvandsforureningen med nitrat er lavere fra økologisk jordbrug. Andre lande, som Danmark, ønsker flere videnskabelige beviser, før man vil bruge økologisk jordbrug som et redskab i grundvandsbeskyttelsen. Flere undersøgelser har vist at økologisk jordbrug ikke altid har nitratkoncentrationer lavere end 50 mg nitrat per l i rodzonen. Det forventes dog, at N-udvaskningen fra økologisk jordbrug kan forblive under denne grænseværdi ved at justere dyretætheden, brugstypen og sammensætningen af sædskiftet til lokale forhold, som er relateret til klima, jordtype, geologi etc.

Casestudium fra Drastrup og Aalborg SØ

Hansen og Christiansen (1998) har undersøgt under hvilke forudsætninger, økologisk jordbrug kan drives på 2 aktuelt grundvandruede arealer ved Aalborg, således at nitratudvaskningen i rodzonen ikke overstiger gældende grænseværdier for nitrat i drikkevand. De fandt frem til to former for økologiske bedrifter, som kunne beskytte grundvandet: planteavlsbrug med et kornsædskifte med 20% grønbrak og 25% import af svinegylle, og et ekstensivt kvægbrug med 1,0 De ha-1. Det vurderes, at det er nødvendigt at tilpasse den økologiske landbrugsdrift til lokalspecifikke forhold (geologi, klima etc.), sådan at økologisk jordbrug kan bruges til grundvandsbeskyttelse.

Omlægning af et regionalt område i Midtjylland belyst ved 4 scenarier

Dalgaard et al. (2000b) har i FØJO I projektet nr. I.8 "Samfunds- og miljømæssige konsekvenser af forskellige strategier for udvikling og udbredelse af økologiske jordbrugssystemer" blandt andet undersøgt de miljømæssige konsekvenser for udbredelse af forskellige typer økologiske jordbrugssystemer i et regionalt landbrugsområde syd for Bjerringbro i Midtjylland. 25% af området på 2000 ha og ca. 40 bedrifter omlægges i 4 forskellige scenarier: I) kun kvægbrug i området omlægges, II) der omlægges som i 1997 hvad angår bedriftstype og størrelse, III) kun plante- og svinebrug omlægges og IV) der omlægges kun i SFL-området svarende til 100% selvforsyning med foder og gødning.

I Tabel 7 ses simuleringer af N-udvaskningen med to forskellige N-udvaskningsmodeller: SKEP (forenkling af DAISY-modellen; Børgesen, 2000) og Simmelsgaard II (Simmelsgaard, 1998). Begge N-udvaskningsmodeller har svagheder i forhold til anvendelse til beregning af N-udvaskning fra økologiske sædskifter. SKEP-modellen forudsiger generelt en lavere effekt på N-udvaskning ved omlægning end Simmelsgaard II – modellen. Valg af økologisk scenario har stor betydning for den modellerede N-udvaskning, idet effekten er forskellig afhængig af hvilke bedriftstyper, der omlægges, og hvor meget belægningsgraden ændres. Den største effekt af omlægning til økologisk jordbrug fås i scenario IV), hvor der omlægges i SFL-området med 100% selvforsyning med foder og gødning. Her forudsiger begge modeller en stor reduktion i N-udvaskningen ved omlægning (SKEP: 43% og Simmelsgaard II: 61%).

Tabel 7 25% omlægning af regionalt landbrugsområde ved Bjerringbro ved 4 forskellige økologiske scenarier. N-udvaskningen er modelleret med SKEP-modellen, og i parentes ses modellering med Simmelsgaard II modellen. Gennemsnit for 2 års klima målt på 5 lokaliteter. Resultaterne for N-udvaskningen gælder kun for de 25% af arealet, som omlægges (modificeret efter Heidman et al., 2000)

Scenario	Før omlægning kg N/ha/år	Efter omlægning kg N/ha/år	Relativ ændring i N-udvaskning %
I) Kun kvægbrug omlægges	117 (88)	93 (36)	21 (59)
II) Omlægning som i 1997	97 (75)	75 (35)	23 (53)
III) Kun plante- og svinebrug omlægges	55 (46)	70 (43)	-27 (7)
IV) Omlægning i SFL-området, 100% selvforsyning med foder og gødning.	76 (61)	43 (24)	43 (61)

Udenlandske undersøgelser

Goss & Goorahoo (1995) undersøgte i et regionalt område i Ontario i Canada påvirkningen af landbruget på grundvandskvaliteten ved kemisk analyse af drikkevand fra brønde og jordvand på udvalgte gårde. De undersøgte nitratudvaskningen fra 2 økologiske gårde, et kvægbrug og et svinebrug, og fandt gennemsnitsværdier på henholdsvis 55 og 22 mg NO₃ L⁻¹. Det økologiske kvægbrug overskrider dermed grænseværdien for nitrat i drikkevand.

I Tyskland er det en udbredt opfattelse, at økologisk i forhold til konventionelt jordbrug kan beskytte grundvandet mod overfladeforurening. I München for eksempel indvindes 80% af drikkevandet i det hydrologiske opland Mangfalltal,

hvoraf 70% dyrkes økologisk (Hermanowski og Krug, 1997). Der foregår mange andre projekter i forskellige grundvandsbeskyttelsesområder, for eksempel i Niedersachsen (Schültken et al., 2000). Der fokuseres hovedsagelig på at udbrede økologisk jordbrug og sikre en lokal afsætning af produkterne, og ikke så meget på at dokumenterer en forbedret grundvandskvalitet ved omlægning til økologisk jordbrug. I pilotprojektet "Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband" er der omlagt 30 ha i et hydrologisk opland. Nitratbelastningen i det overfladenære grundvand er fulgt fra 1993-1997. I figur 9 ses hvordan nitratkoncentrationen i det overfladenære grundvand langsomt reduceres til under grænseværdien for nitrat i drikkevand ved omlægning til økologisk jordbrug (Hermanowski og Krug, 1997).

7 Vigtige hypoteser og problemstillinger for et fremtidigt forskningsprojekt

I tabel 8 er beskrevet vigtige hypoteser og problemstillinger for et fremtidigt forskningsprojekt. Disse kan forfølges i et nyt forskningsprojekt, idet der i FØJO II er afsat ca. 4 mio. kr. til gennemførelsen af et forskningsprojekt vedrørende regional grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug. Problemstillingerne kan samles i 4 hovedgrupper:

N-udvaskning fra rodzonen. Validering og forbedring af modeller til forudsigelse af N-udvaskningen fra rodzonen, herunder test af centrale hypoteser omkring udvaskning af opløst organisk stof (DOC) samt fordampning.

- *Agronomiske aspekter på oplandsniveau.* Beskrivelse af nuværende praksis, planer for omlægning til økologisk jordbrug og modellering af N-udvaskningen på oplandsniveau.
- *Geologiske aspekter på oplandsniveau.* Hydrologisk modellering. Estimering af nitratreduktionskapaciteten. Geokemisk modellering.
- *Regulering og socio-økonomiske aspekter.* Hvordan skal driften reguleres? Hvilke beskæftigelsesmæssige og økonomiske konsekvenser har en omlægning til økologisk jordbrug?

Nogle hypoteser og problemstillinger egner sig til processtudier andre til oplandsstudier. Arbejdet i ekspertgruppen blev afsluttet med en rammebeskrivelse for et projekt med titlen: "Udvikling af økologiske jordbrugssystemer til følsomme grundvandsindvindingsområder" (ØJ+). Projektets titel og formål indgår i et fremsendt (11. Oktober 2000) EU-projekt (OF+) under det 5. rammeprogram 1998-2002, "Quality of Life and Management of Living Resources".

Processtudier

I den økologiske dyrkningspraksis med bl.a. anvendelse af fangafgrøder, tilbageførsel af organisk stof til jorden og brugen af organiske gødninger antages indholdet af bundet kvælstof i jorden at ligge på et højere niveau end for konventionelt landbrug (Olesen, 1999). En del af dette kvælstof vil blive frigivet over tid og vil kunne blive optaget af planter eller resultere i en større kvælstofudvaskning.

Desuden må det forventes, at den økologiske dyrkningsform vil kunne påvirke puljen af organisk stof i jorden og dermed under visse dyrkningsbetingelser bidrage til en øget udvaskning af organisk stof fra jordoverfladen til dybere jordlag. En øget udvaskning af organisk stof vil have betydning for jordlagenes reduktionspotentiale over for det nedsvivende nitrat. Et potentiale, der er knyttet til iltfrie geokemiske forhold, og som kan bestå af såvel en mikrobiel proces under dannelse af frit kvælstof (bl.a. Ehrlich, 1990) og en kemisk proces under dannelse af ammonium (Ernstsen, 1996 a,b og 1998 a; Hansen & Koch, 1998).

Den mikrobielle nitratreduktionsproces (denitrifikation) kræver tilstedeværelse af tilgængeligt organisk stof. I danske sedimenter er indholdet af organisk stof generelt lavt og dermed begrænsende for denitrifikationsprocessen. Ved en øget udvaskningen af tilgængeligt organisk stof vil dette kunne bidrage til at forbedre jordlagenes reduktionskapacitet, dels direkte ved en forøget denitrifikation under iltfrie forhold, dels indirekte ved at den forøgede mikrobielle aktivitet resulterer i dannelse af iltfrie mikromiljøer i ellers iltholdigt jordlag.

En øget tilgængelighed af organisk stof vil ligeledes kunne øge potentialet for en kemisk nitratreduktion, idet en øget mikrobiel aktivitet vil kunne øge/forny puljen af elektroner i jernholdige (ler)minerale, der indgår i rækken af elektronacceptorer. Under passende geokemiske forhold vil disse elektroner atter kunne indgå i nitratreduktionsprocessen (Ernstsen et. al., 1998 b).

Kendskabet til det organiske stofs kredsløb samt jordlagens evne til at reducere nitrat i forbindelse med den økologiske dyrkningsform er for indeværende meget mangelfuldt, og supplerende studier er nødvendige for at kunne forudsige kvaliteten af det nedsivende vand til grundvand og overfladevand. Der ønskes derfor målinger af DOC i rodzonen for indledningsvis at teste denne hypotese.

Samlinger af vandbalancen i rodzonen ved økologisk og konventionel dyrkning har ikke tidligere været foretaget. Man kan forvente en ændret aktuel fordampning ved omlægning til økologisk jordbrug, som kan have indvirkning på nitratkoncentrationen i rodzonen og dermed udvaskningen af nitrat til grundvandet. Denne formodede ændring i aktuel fordampning ved omlægning til økologisk drift vil være knyttet til brugen af efterafgrøder i efterår og vinter og ændringer i hovedafgrødemassen (bladareals størrelse og varighed). Der ønskes derfor målinger af vandindholdet i rodzonen for at teste denne hypotese.

Der er et stort behov for at udvikle en N-udvaskningsmodel, der kan simulere N-udvaskningen fra økologiske sædskifter, da der p.t. ikke findes en velegnet model. Udarbejdelsen af en N-udvaskningsmodel til oplandsniveau, som inkluderer de mest betydende faktorer, er planlagt. Modellen bygger på forbedring af eksisterende modeller fra DAISY og FASSET. I modellen skal der blandt andet udvikles et modul for organisk stofomsætning i jorden, som er vigtig for en korrekt modellering af N-udvaskningen.

Oplandsstudier

Ekspertergruppen i vidensynteseprojektet omkring grundvandsbeskyttelse med økologisk jordbrug

identificerede et regionalt orienteret projekt (Tabel 1). Projektet tager udgangspunkt i 3 hydrologiske oplande: Havdal på Djursland, Bolbro i Sønderjylland og Eggeslevmagle på Sydvestsjælland (Appendiks 2). Metoderne fra Bolbro (OF+) vil derfor blive generaliseret til yderligere 2 hydrologiske oplande. Formålet er at opnå mere generelle resultater, idet de 3 oplande tilsammen repræsenterer vigtige hydro-geologiske grundvandsforhold i Danmark med forureningsproblemer, der stammer fra landbruget. I forhold til OF+ vil der i de 3 områder blive udført yderligere geologiske undersøgelser og analyser af grundvandskvaliteten ved omlægning til økologisk jordbrug.

Analysen af agronomiske og geologiske aspekter i de 3 hydrologiske oplande vil blive kombineret:

1. Agronomi
 - Beskrivelse af nuværende landbrugspraksis
 - Omlægning til økologisk jordbrug
 - Modellering af N-udvaskning
2. Geologi
 - Hydrologisk modellering
 - Estimering af nitratreduktionskapacitet
 - Geokemisk modellering af nitratreduktionen

Der vil i stor udstrækning bygges videre på viden opnået i andre projekter:

- 1) Hydrologisk modellering med MIKE SHE i Bolbro, Eggeslevmagle og Havdal
- 2) Geokemiske og vandkemiske undersøgelser i Bolbro, Eggeslevmagle og Havdal
- 3) Databaserutiner til beskrivelse af landbrugsstruktur fra ARLAS (projekt under forskningsprogrammet: Arealanvendelse – jordbrugerens som landskabsforvalter)
- 4) Omlægningsstrategier fra FØJO I projekt I.8 "Samfunds- og miljømæssige konsekvenser af forskellige strategier for udvikling og udbredelse af økologiske jordbrugssystemer".
- 5) N-udvaskningsmodel og DOC målinger fra BIOMOD

- 6) Generalisering af agronomiske, miljømæssige og socioøkonomiske analyser i Bolbro (OF+) til Eggeslevmagle og Havdal.

Tabel 8 Oversigt over identificerede hypoteser og problemstillinger

Projekt-type	Emner	Hypoteser	Undersøgel-sessted
Proces-studie	DOC-målinger i rodzonen	Der udvaskes mere DOC fra økologiske end konventionelle marker	
	TDR-målinger i rodzonen	Den aktuelle fordampning ændres ved omlægning til økologisk drift	
	Udvikling af N-udvaskningsmodel til oplandsniveau	N-udvaskningen fra økologiske marker kan modelleres ved forbedret beskrivelse af C- og N- omsætning i jorden	
Oplands-studie	Beskrivelse af nuværende landbrugspraksis	Analyser i et geografisk informationssystem (hvor jordtype og produktion kobles til et markkort og N-udvaskningen modelleres) vil give et bedre bud på den regionale N-udvaskning end en simpel gennemsnitsbetragtning.	Bolbro, Eggeslevmagle, Havdal
	Omlægning til økologisk jordbrug	Den geografiske analyse giver endvidere mulighed for at identificere, hvordan en lokal regulering af økologisk jordbrug bedst sikrer grundvandet.	
	Modellering af N-udvaskning	Ved omlægning til økologisk jordbrug i et område med særlige drikkevandsinteresser kan samarbejde mellem bedrifter resultere i signifikant reduceret N-udvaskning. En regulering af økologisk jordbrug i sådanne områder kan derfor spille på disse positive vekselvirkninger.	
Geologi	Hydrologisk modellering	Den hydrologiske modellering vil resultere i udpegning af delområder/bedrifter, hvor miljøvenlig økologisk drift er særlig påkrævet af hensyn til drikkevandskvaliteten.	Bolbro, Eggeslevmagle, Havdal
	Estimering af nitratreduktionskapacitet	Den hydrologiske modellering vil resultere i bestemmelse af tidshorisonten for forbedring af drikkevandskvaliteten i indvindningsboringer ved omlægning til økologisk drift.	
	Geokemisk modellering af nitratreduktionen	Den geokemiske modellering af nitratreduktionen vil resultere i bestemmelse af nitratkoncentrationer i grundvandet ved nuværende og økologisk drift.	
Socio-økonomi		I visse følsomme indvindingsoplande vil det kræve yderligere regulering af økologisk jordbrug, hvis denne driftsform skal bruges som middel i grundvandsbeskyttelsen	Bolbro, Eggeslevmagle, Havdal

8 Referencer

- Aktionsplan II – økologi i udvikling, 1999. Udarbejdet til Ministeren for Fødevarer, Landbrug og Fiske-
ri af Det Økologisk Fødevareråd, januar 1999.
- Alrøe, H.F. & Kristensen, E.S. 1998. Bæredygtighed og økologisk jordbrug. Landbruksøkonomisk Fo-
rum nr. 3.
- Aronsson, H. & Torstensson, G., 1998. Measured and simulated availability and leaching of nitrogen
associated with frequent use of catch crops. *Soil Use and Management* 14, 6-13.
- Askegaard, M., Eriksen, J., Søegaard, K. & Holm, S., 1999. Næringsstofhusholdning og planteprodukti-
on i fire økologiske kvægbrugssystemer. DJF rapport, 12, 112 p.
- Askegaard, M., Olesen, J.E. & Rasmussen, I.A., 2000. Økologiske sædskifter til kornproduktion. Resul-
tater 1998. Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, 59 p.
- Brandhuber R. & Hege, U., 1992. Teifeundersuchungen auf nitrat unter ackerschlägen des ökologischen
landbaus. Aus des bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising-München.
Landwirtschaftliches Jahrbuch 69. Jhrg, heft 1, 111-119.
- Børgensen, C.D., 2000. Landsdækkende beregninger af kvælstofudvaskningen med SKEP-
modelsystemet (manuskript).
- Dalgaard, T., Elmegaard, N., Hasler, B., Heidmann, T., Langer, V., Mogensen, L., Nielsen, F. & Od-
derskær, P., 2000. Omlægning til økologisk jordbrug – effekter på natur og miljø belyst ved scena-
rier i et landbrugsområde. FØJO rapport (in prep.).
- Ehrlich, H.L. 1990. Geomicrobiology. Marcel Dekker, INC.
- Ernstsen, V. 1996 a. Nitrate reduction in clayey subsoil. Ph.D. afhandling ved den Kongelige Veteri-
nær- og Landbohøjskole. pp. 148.
- Ernstsen, V. 1996 b. Reduction of nitrate by Fe^{2+} in clay minerals. *Clays and Clay Miner.* 44: 599-608.
- Ernstsen, V., Binnerup, S.J. & Sørensen, J. 1998a. Reduction of Nitrate in Clayey Subsoils Controlled by
Geochemical and Microbial Barriers. *Geomicrobiology*, 15: 195-207.
- Ernstsen, V., Gates, W.P. & Stucki, J.W. 1998b. Microbial Reduction of Structural Iron in Clays – A Re-
newable Source of Reduction Capacity. *J. Environ. Qual.* 27:761-766.
- GEUS, 1995: Grundvandsovervågning 1995, Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser, Miljø-
og energiministeriet, 209 p.
- GEUS, 1999. Grundvandsovervågning 1999. Danmarks og grønlands geologiske undersøgelser, Miljø-
og energiministeriet, 116 p.
- Goss M.J. & Goorahoo., 1995. Nitrate contamination of groundwater: Measurement & prediction.
Fertilizer Research, 42, 331-338.
- Grant , R., Jensen, P.G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Deibjerg, C., Rasmussen, H. & Rasmussen, P.,
1997. Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Faglig rapport fra
DMU, 210, 141 p.
- Grant , R., Poulsen, I., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Jørgensen, J.O., Jensen, P.G. & Pedersen, M.,
1999. Landovervågningsoplande 1998. NOVA 2003. Faglig rapport fra DMU, 293, 152 p.

- Halberg, N., Kristensen, E.S. & Kristensen, I.S., 1995. Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 8(1), 30-51.
- Hansen, B. & Kristensen, E.S., 1998. N-udvaskning og –balancer ved omlægning fra konventionelt til økologisk jordbrug. FØJO-rapport nr. 2, 87-114.
- Hansen, B., Kristensen, E.S., Grant, R., Høgh-Jensen, H., Simmelgaard, S.E. & Olesen, J.E., 2000a. Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems – a systems modelling approach. *European Journal of Agriculture*, 13, 65-82.
- Hansen, B. & Kristensen, E.S., 2000b. Specialisation in organic production systems – a question of N, P, and K accessibility. (in prep.)
- Hansen, H.C.B. & Koch, C.B. 1998. Reduction of nitrate to ammonium by sulphate green rust: activation energy and reaction mechanism. *Clay Minerals* 33:87-101.
- Hansen, K. & Christiansen, L., 1998. Kvælstofudvaskning fra to økologiske jordbrugssystemer på grundvandstruede arealer. Speciale ved Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole, 108 sider.
- Heermann, D.F., Duke, H.R. & van Schilfgaarde, J. 1989. Management of water balance components. In: Nitrogen management and ground water protection. Development in agricultural and managed-forest ecology 21, R.F. Follett (Eds.), Elsevier, kapitel 11, 319-361.
- Heidmann, T., Børgensen, C., Mogensen, L., Dalgaard, T & Nielsen, F., 2000. Fremgangsmåde ved N-modellering. Kapitel 4, FØJO rapport (in press).
- Hermanowski, R. & Krug, A., 1997. *Wasserschutz durch Ökologischen Landbau. Leitfaden für die Wasserwirtschaft*, 148 pp.
- Hovedudvalget, 1999. Rapport i Bichel-udvalget – udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen, pp. 144.
- Kristensen, E.S. & Halberg, N. 1997. A systems approach for assessing sustainability in livestockfarms. EAAP Publication nr. 89, 16-30.
- Kristensen, E.S. & Olesen, J.E. 1998. Kvælstofudvaskning og –balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. FØJO-rapport nr. 2, 114 sider.
- Ladekarl, U.L. & Hansen, B. 1998. Dannelse af grundvand – under egeskov og hede. Tema: Grundvand, *Geologisk Nyt* 2, 6-8.
- Miljøstyrelsen, 1998. Drikkevandsudvalgets betænkning. Betænkning fra Miljøstyrelsen, 1, 269 p.
- Miljøstyrelsen, 2000. Zonering. Detalkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen. Vejledning fra Miljøstyrelsen, 3, 156 p.
- Refsgaard, J.C., Thorsen, M., Jensen, J.B., Kleeschulte, S. & Hansen, S. 1999. Large scale modelling of groundwater contamination from nitrate leaching. *Journal of Hydrology*, 221, 117-140.
- Rosbjerg D. & Fredericia, J. 2000. Forskning i pesticider og grundvand. I: Pesticider og grundvand. Temanummer fra Grundvandsgruppen, *Miljøforskning*, 42, 4-5.
- Schültken, H., Dreyer, W., Keesen, H., Meyercordt, A., Niebuer, P. & Seul, H., 2000. Ökologischer landbau in Niedersachsen als ein beitrag zur nachhaltigen landwirtschaft und zum grundwasserschutz – Ergebnisse aus vier pilotprojekten. *Grundwasser. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie*, 28 pp.
- Simmelgaard, S.E., 1998. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management* 14, 30-36.

- Stolze, M., Piorr, A., Häring, A. & Dabbert, S., 2000. The environmental impact of organic farming in Europe. *Organic farming in Europe: Economics and Policy*. Vol. 6, University of Hohenheim, Germany, ISBN 3-933403-05-7, ISSN 1437-6512.
- Storm, B., Styczen, M. & Clausen, T., 1990. Regional model for nitrate transport and transformation. NPO Research in the NAEP. Report A7. National Agency of Environmental Protection. Denmark.
- Styczen, M. & Storm, B. 1993ab. Modelling of N-movements on catchment scale – a tool for analysis and decision making. 1. Model description. 2. A case study. *Fertilizer Research* 36, 1-17.
- Sønderjyllands Amt, 1997. Vandmiljøovervågning. Teknisk rapport landovervågning, Teknisk forvaltning – Miljøområdet, 39 p.
- Sønderjyllands Amt, 1999. Vandmiljøovervågning 1998. Grundvand. Teknisk rapport. Teknisk forvaltning – Miljøområdet.
- Thirup, C. 1999. Reduktion af nitratudvaskningen i et nitratfølsomt vandindvindingsområde. En scenarieundersøgelse med jord-plante-atmosfære-modellen DAISY. Specialeprojekt, Den Kgl. Veterinær- og landbohøjskole, 70 p.
- Thorup-Kristensen, K. 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research* 37, 227-234.
- Underudvalget om Miljø og sundhed, 1999. Rapport i Bichel-udvalget – udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen, pp. 243.
- Vest Sjællands Amt, 1999. Vandmiljø. Overvågning. Grundvand 1998. *Natur og Miljø*, 83 p.
- Vestergaard, A., Knudsen, L., Østergaard, Hansen, T., Gleerup, L.S. og Lundgaard, L., 1999. Demonstration af anvendelse af de miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger til grundvandsbeskyttelse i 3 vandindvindingsområder.
- Villumsen, B. 1999. Miljøstyrelsens vejledning om zonerings – detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen. Bilag til videnssynesen omkring grundvandsbeskyttelse ved omlægning til økologisk jordbrug d. 14 december 2000, 7p.
- van der Werff, P.A., Baars, A. & Oomen, G.J.M., 1995. Nutrient balances and measurement of nitrogen losses on mixed ecological farms on sandy soils in the Netherlands. In: *Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture*, Eds: Lars Kristensen with Christopher Stopes, Per Kølster, Artur Granstedt and David Hodges, 41-50.
- Århus Amt, 1991. Vandmiljø – overvågning af grundvandet. Kastbjerg GRUMO nr. 70.01. Teknisk rapport. Århus Amt – Miljøkontoret, 46 p.
- Århus Amt, 1993. Statusrapport 1992. Vandmiljø – overvågning af grundvandet. Teknisk rapport. Århus Amt – Natur og Miljø, 110 p.
- Århus Amt, 1994. Statusrapport 1993. Vandmiljø – overvågning af grundvandet. Teknisk rapport. Århus Amt – Natur og Miljø, 23 p.
- Århus Amt, 1995. Statusrapport 1994. Grundvandsovervågning i Århus Amt. Teknisk rapport. Århus Amt – Natur og Miljø, 136 p.
- Århus Amt, 1997. Statusrapport 1996. Grundvandsovervågning i Århus Amt. Teknisk rapport. Århus Amt – Natur og Miljø, 31 p.
- Århus Amt, 1999. Statusrapport 1998. Grundvandsovervågning i Århus Amt. Teknisk rapport. Århus Amt – Natur og Miljø, 69 p.

Appendiks Agro-hydro-geo-kemiske oplysninger om Havdal, Bolbro og Eggeslevmagle



Figur 1 Beliggenhed af de 3 udvalgte hydrologiske oplande

Tabel 1 Kriterier for udvælgelse af områder

	Bolbro	Havdal	Eggeslevmagle
Nitrat og/eller pesticidfølsomt indvindingsområde	Det øvre reservoir i hedeslettesandet er belastet med nitrat og anden forurening fra landbruget. Det nedre reservoir har ingen nitratproblemer.	Område med særlige drikkevandsinteresser. Nitratfølsomt indvindingsområde	Forekomst af sandvinduer og risiko for nitratforurening af primærgrundvandsmagasin
Kortlagt mht. jordbundsforhold, geologi, hydrogeologi, vandkemi etc.	Ja	Ja	Ja
Nedsivnings- og grundvandsmodel er opstillet for området	Ja (vinter 2000)	Ja	Ja
Landbrugspraksis er undersøgt i området	Ja	Ja	Nej

Tabel 2 Vandindvindning og geografi (modificeret fra Grant et al., 1999; GEUS, 1999; Sønderjyllands Amt, 1997 og 1999; Århus Amt 1991, 1993, 1994, 1995, 1997 og 1999; Thirup, 1999 og Vestsjællands Amt, 1999)

	Bolbro (1989-98)	Havdal	Eggeslevmagle
Nitratkoncentration	<5 mg/l	Meget svingende, (ca. 1-80 mg/l)	<1 mg/l
Landskabstype	Hedeslette med bakkeøer	Moræneplateau gennemskåret af dalsystemer	Bakket morænelandskab (drænet)
Nedbørsmængde	1055 mm/år (inkl. 33 mm vanding)	730 mm/år (30 års)	
Topografi	53 m.o.h. i NØ og 23 m.o.h. i SV	30-40 m.o.h.	15-30 m.o.h.
Oplandstype	Opland til Bolbro Bæk	Indvindingsopland til Havdal vandværk	Indvindingsopland til Eggeslevmagle

Tabel 3 Landbrugspraksis (modificeret fra Grant et al., 1999; Sønderjyllands Amt, 1997 og 1999; Århus Amt 1991, 1993, 1994, 1995, 1997 og 1999; Thirup, 1999 og Vestsjællands Amt, 1999)

	Bolbro (1989-98)	Havdal	Eggeslevmagle
Antal hektar	821	1500 (indvindingsopland): 73% landbrug, 14% skov, 9% byområder, 2% læhegn, heder 1%, veje 2%	95% landbrug (5% har stort dyrehold)
De/ha	1,18	1,3 ²	
Bedriftstyper	Planteavl (6), kvægbrug (14), svinebrug (4) og andet (3)	Plantebrug (1), svinebrug (5), kvægbrug (3)	
Afgrødetyper	Græs+foder, vinterkorn, vårkorn, vårkorn m. udlæg, bælg-sæd, frøafgrøder og rodfrugter	CHT: vår- og vintersæd, mark-ært, raps, majs, kartofler, græs, helsæd byg/ært, roer	
Antal bedrifter	27	9 (30%)	
Grønne arealer	62%	81%	
Type og udbringning af husdyrgødning	80% udbringes i 2. kvartal (65% gylle)		
Behandlingshyppighed	4,8 kartofler, 3,3 foder-sukkerroer, gennemsnit 2,5		

Tabel 4 Jordbund og perkolationszone. (modificeret fra Grant et al., 1999; Sønderjyllands Amt, 1997 og 1999; Århus Amt 1991, 1993, 1994, 1995, 1997 og 1999; Thirup, 1999 og Vestsjællands Amt, 1999)

		Bolbro (1989-98)	Havdal	Eggeslevmagle
Jordbunden	Jordtype	67% grovsandet jord, 18% lerblandet sand og 14% humusjord	42% JB1, 48% JB4, 4% JB2, 2% JB4 og 4% JB5	
	Nedsivning	537 mm/år	312 mm/år	
	Nitrat i rodzonen	109 mg/L	97 mg/l (128 dyrkede land), DAISY	
	N handelsgødning	98 kg/ha/år	97 kg/ha/år	
	N husdyrgødning	143 kg/ha/år	120 kg/ha/år	
	N input total	288 kg/ha/år	247 kg/ha/år	
	N høstet	136 kg/ha/år	149 kg/ha/år	
	N overskud	152 kg/ha/år	98 kg/ha/år	
	N udvaskning	133 kg/ha/år	90 kg/ha/år dyrkede arealer	
Perkolationszonen	Materiale	Smeltevandssand	Smeltevandssand	Moræneler (sandvindue)
	Grundvandsdannelse	467 mm/år		
	Tykkelse	Ca. 1-3 m	Ca. 11-27 m	Ca. 5-10 m
	Perkolationstiden	3-9 måneder		

Tabel 5 Grundvandsmagasinet (modificeret fra GEUS, 1999; Sønderjyllands Amt, 1997 og 1999; Århus Amt 1991, 1993, 1994, 1995, 1997 og 1999, og Vestsjællands Amt, 1999)

	Bolbro (1989-98)	Havdal	Eggeslevmagle
Geologisk model	Øvre reservoir: hedeslettesand (15-25 m) Morænelersaquitar: (15-50 m) Nedre sandreservoir: (ca. 50 m)	Øvre reservoir: smeltevandssand (25-45m) Nedre reservoir: kalk	Sekundærmagasin: smeltevandssand (2-6m) Moræneler (3-18m) Primærmagasin: Eggeslevmaglemagasinet, smeltevandssand (op til 30 m)
Alder på grundvand	<1940 - >1995 (CFC)	1956 – 1993 (CFC)	1941 – 1979 (CFC)
Nitrat koncentration	LOOP: 1.5 m.u.t.: 82 mg/l, 3 m.u.t.: 49 mg/l GRUMO: en boring har konc. på 110 mg/L, terrænære filtre er påvirket + ét dybt filter	1998: Vestlig del: <14 mg/l Østlig og nordlig del: 15-320 mg/l	1-85 mg/l (muligvis sandvindue, da nitratreducerende forhold i boring 215.749 i 29.5 m.u.t. i primærmagasin med ca. 15 m tyk dækmoræne)
Uorganiske sporstoffer	LOOP: Fund i alle borer, overskridelser af grænseværdier for Ni (40x), Al (7x), Zn (4x) og Cd (2x) GRUMO: Fund i alle borer, overskridelser af grænseværdier: Al, Ba, Ni, Zn	GRUMO: fund i alle borer, ingen overskridelser af grænseværdier	GRUMO: fund af Al, An, Ar, Ba, Br, Cd, Cr, Cu og Hg, ingen overskridelser af grænseværdier
Organiske mikroforurenninger	GRUMO: Fund af anioniske detergenter i alle filtre og phenol i et filter. Ingen overskridelser af grænseværdier	GRUMO: fund af kloroform i lavt niveau i en boring i 1994 og 1996, fund af anioniske detergenter i flere filtre, ÷fund af MTBE	GRUMO: fund af Toluen, O-xylen, M+P-xylen, detergenter
Pesticider	LOOP: Atrazin, glyfosat, desethylterbutylazin, carbofuran, bromoxynil, desisopropylatrazin, desethylatrazin, simazin, desethyldeisopropylatrazin, mechlorprop, bentazon, 2,6-dichlorbenzamid, ethylthiourea. GRUMO: Fund i 6 ud af 20 filtre med: desisopropylatrazin, desethylatrazin, simazin, desethyldeisopropylatrazin, mechlorprop, bentazon, 2,6-dichlorbenzamid, ethylthiourea. Overskridelse af grænseværdi i et filter for: bentazon, 2,6-dichlorbenzamid	GRUMO: fund i 55% af filtre, Atrazin, Bentazon, desethylatrazin, desisopropylatrazin, 2,4 dechlorphenol, 2,6 dechlorbenzamid (BAM)	GRUMO: fund i 14% af filtre, Desethylatrazin, Desisopropylatrazin, Dimethoat, Metamitron
NVOC	LOOP: 14 ud af 20 borer viser forhøjede værdier GRUMO: 2 terrænære filtre viser forhøjede værdier	GRUMO: fund i alle filtre, ikke over grænseværdi	GRUMO: fund i 58% af filtrene, ikke over grænseværdi

Tabel 6 Vandløb (modificeret fra Grant et al., 1999, personlig kommunikation Århus Amt)

	Bolbro (1989-98)	Havdal (Skærvad å, 1999)	Eggeslevmagle
Total N	7,1 kg N/ha/år	20 kg N/ha/år	
Nitrat	1,5 mg NO ₃ -N/l (6,6 mg NO ₃ /l)	8,6 mg NO ₃ -N/l (38 mg NO ₃ /l)	
Total P	0,6 kg P/ha/år	0,21 kg P/ha/år	
Afstrømning	426 mm/år	156 mm/år	